



Heli Kanerva-Lehto

# Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa

Tiehallinnon selvityksiä 20/2009





Heli Kanerva-Lehto

# **Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa**

Tiehallinnon selvityksiä 20/2009

*Kannen kuva: Heli Kanerva-Lehto*

ISSN 1457-9871  
ISBN 978-952-221-220-7  
TIEH 3201134

Verkkojulkaisu pdf ([www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut))  
ISSN 1459-1553  
ISBN 978-952-221-221-4  
TIEH 3201128-v

Edita Prima Oy  
Helsinki 2009

**Tiehallinto**  
Keskushallinto  
Opastinsilta 12A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihde 0204 22 11

**Heli Kanerva-Lehto: Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa.** Helsinki 2009. Tiehallinto, Asian-  
tuntijapalvelut. Tiehallinnon selvityksiä 20/2009. 78 s. + liitt. 12 s. ISSN 1457-9871, ISBN 978-  
952-221-220-7, TIEH 3201134.

**Asiasanat:** Teräsverkot, routanousu, routavauriot, mitoitus, rakenteen parantaminen  
**Aiheluokka:** 32, 38, 42 ja 54

## TIIVISTELMÄ

Teräsverkkoja on käytetty Suomessa tierakenteissa vahvisteena 1970-luvun lopulta lähtien pääosin maanteiden routahalkeamien korjaamiseen. Teräsverkkojen käyttö on kasvanut koko maassa 2000-luvulla, koska teräsverkkojen käytöllä saavutettavat toiminnalliset ja taloudelliset hyödyt ovat tulleet ilmeisiksi. Teräsverkkojen keskeisiä käyttökohteita Suomessa ovat routanousuhalkeamien ja urautumisen estäminen sekä tierakenteiden levennyskohteet. Viime vuosina uusituissa Tiehallinnon suunnitteluohjeissa on huomioitu teräsverkkojen pitkäaikaiset käyttökokemukset ja tutkimusprojektien tulokset.

Pitkäaikaisessa käytännön työssä, toteutetuissa tutkimuksissa ja tutkimushankkeissa on todettu, että teräsverkoilla voidaan hidastaa tierakenteiden vaurioitumisprosesseja. Teräsverkkojen vaikutus tulee parhaiten esiin tieosuuksilla, joilla on heikko kantavuus ja pohjamaa erittäin routivaa. Hyväkuntoisilla ja hyvin kantavan maapohjan omaavilla tieosilla vaikutukset kohdistuvat päällysteen käyttöikään.

Mitoitusmenettelyiden osalta työssä keskityttiin teräsverkkojen käyttöön routavaurioiden korjaamisessa, koska se on Suomessa teräsverkkojen yleisin käyttökohde, johon ei ole ollut teräsverkkojen mitoituslaskentamallia. Esitetyssä menettelyssä tierakenne on tulkittu ulokepalkiksi. Ulokepalkin pituus määräytyy normaalipoikkileikkauksen perusteella. Kuormitusvaihtoehtoina ovat olleet 1) rakennekerrosten oma paino sekä 2) rakennekerrosten oman painon ja liikennekuorman summa. Lisäksi molemmissa kuormitusvaihtoehtoissa oli alavaihtoehtoina tapaukset, joissa omaan painoon laskettiin joko tien a) rakennekerrokset tai b) rakennekerrokset ja mitoitusroudansyvyyden mukainen osuus pohjamaata.

Mitoituslaskelmissa maantiepöikkileikkauksissa tulokset ovat pääosin samansuuntaisia aikaisempien ohjesuosituksen kanssa. Näin ollen näyttäisi, että tarvetta ohjeiden muutoksiin osalta ei tältä osin ole. Kevyen liikenteen välillä kaikissa poikkileikkauksissa nykyistä ohjeistusta hieman pienempi teräsmäärä näyttäisi riittävän. Mitoituslaskelmien kuormitusvaihtoehtojen alatapausten määrittelyperiaatteita tulisi edelleen kehittää, koska nykyisellään ne eivät täysin kuvaa todellista tilannetta ja kehitystä tierakenteessa, vaan vaihtoehdot edustavat kuormitustilanteiden ääripäitä.

Tarkan suunnittelun ohella tärkeää on teräsverkkojen huolellinen käsittely ja varsinaisten tierakenteiden toteutus. Keskeisiä huomioitavia seikkoja ovat teräsverkkojen kuljetus ja varastointi sekä oikea asennustapa. Lisäksi työmaalla tulee kiinnittää huomiota työskentelytapoihin, työturvallisuuteen ja liikenteen ohjaukseen.

## **SAMMANFATTNING**

Stål nät har använts som förstärkning i vägkonstruktioner i Finland från slutet av 1970-talet mest i vägar för att reparera tjälsprickor. Under de senaste åren har användningen av stål nät ökat, eftersom den funktionella och ekonomiska nyttan, som kan uppnås med att använda stål nät, har blivit uppenbar. De främsta centrala användningsändamålen i Finland är tjälsprickor, hjulspår och beredning av vägkonstruktioner. I Vägförvaltningens förnyade planeringsinstruktioner har också långvariga erfarenheter av att använda stål nät och resultaten från de nyaste forskningsprojekten beaktats.

I långvariga vägbyggsarbeten i praktiken samt i flera forskningar och forskningsprojekt, har det konstaterats att vägkonstruktioners avbrottsprocesser kan motverkas genom att använda stål nät. Inverkan av att använda stål nät kommer bäst fram på vägavsnitt med svag bärighet och där jordgrunden är mycket tjälände.

Vad dimensioneringsmodellerna gäller koncentrerades i detta arbete på användning av stål nät för att reparera tjälsprickor eller för att förhindra uppkomsten av tjälsprickor. Detta gjordes därför att tjälsprickor är det allmänaste användningsändamålet för stål nät i Finland och att det tills vidare inte finns någon dimensioneringsberäkningsmodell för stål nät. I den modell som introduceras här avses vägkonstruktionen vara en konsolbalk. Längden på konsolbalken bestäms på basis av vägtvärsektion. Belastningsfallen är följande: 1) belastning på vägkonstruktion samt 2) belastning på vägkonstruktion och trafikbelastning. Därtill finns i båda belastningsfall också två alternativa fall: I belastningen ingår antingen a) vägens konstruktionslager eller b) konstruktionslager och den del av jordgrund som räknas enligt dimensioneringstjälsdjupet.

Beträffande tvärsektion i dimensioneringsberäkningarna är resultaten i huvudsak likriktade med de tidigare rekommendationerna. Det ser ut att det inte finns något behov för att göra några större förändringar i rekommendationerna. I farleder för lätta trafik, i alla tvärsektionerna, räcker det med en mindre stål mängd än det förutsätts i de nuvarande rekommendationerna. Definitionsprinciperna för belastningsalternativen i dimensioneringsberäkningarna borde fortfarande utvecklas, eftersom de i nuvarande fall inte helt beskriver den verkliga situationen och utvecklingen av vägkonstruktionen utan alternativen representerar ändarna.

Vid sidan av exakt planering är det viktigt att både hantera stål nät noggrant och bygga alla egentliga vägkonstruktioner noggrant. Man ska också lägga märke till transport av stål nät, lagring samt montering. Vidare ska man fästa avseende på arbetsvanor och säkerhet. På vägbyggnadsplatser, där stål nät monteras, ska man vara speciellt försiktig. Likaså ska man också satsa på trafikledning.

## SUMMARY

Steel mesh reinforcements have been used in Finland in reinforcing road structures since the 1970s, mainly in repairing longitudinal frost heave cracks. During the last few years, the use of steel mesh reinforcements has grown because of clear economical benefits and durability of road structures. Steel mesh reinforcements are used primarily in frost heave cracks, rutting and road widening. Long term usage and experiences as well as new results from research projects have now been taken into account in the Finnish Road Administration's new planning guidelines.

In long term practical work, field research and research projects, it has been verified that with the assistance of steel mesh reinforcements permanent deformations can be delayed. The effect of steel mesh reinforcements becomes the most evident in road sections which have weak bearing capacity and where the soil is extremely frost-susceptible.

In this study, the focus in dimensioning procedures was on the use of steel mesh reinforcements in repairing frost heave cracks, because it is the most common reason for using steel mesh reinforcement in Finland and there was not steel mesh reinforcement dimensioning procedure model available. In the introduced dimensioning model, the road structure is seen as a cantilever. The length of the cantilever is based on the cross-section of the road. Load possibilities were 1) road structure load and 2) combined road structure and traffic load. In both possibilities there were also sub-cases, where the load consisted of either a) road structural layers or b) road structural layers and the part of soil that is above the dimensioned frost depth.

In the dimensioning calculations, the results with cross-sections are mainly similar to previous recommendations. It seems that there is no need to change the recommendations. However, in pedestrian and bicycle ways and in the case of all cross-sections, a slightly less steel amount would seem to be sufficient. The determination principles of the load option sub-cases in the dimensioning calculation should be developed further, because now they do not exactly represent the real situation and function of the road structures, but rather they represent extremities.

Besides the exact planning, it is also important to handle steel mesh reinforcements accurately and implement road structures properly. The essential things to observe are the correct transportation manners, storage and installation of steel mesh reinforcements. In addition attention has to be paid attention to working manners and safety on the site. Sufficient time and effort should be invested in the traffic control.





## ESIPUHE

Raportin toteutus on jatkoa vuosina 2004 - 2007 Tammet Oy:n johdolla toteutettuun Tekes-rahoitteiseen Kopler-projektiin, jossa rakennettiin teräsverkollisia koekohteita ja selvitettiin teräsverkon käyttöedellytyksiä yhdyskuntarakentamisessa. Projektin toteutusaikana havaittiin, että teräsverkkoja koskevasta kirjallisuudesta ei ole yleisesitystä eikä esimerkiksi ole olemassa teräsverkkojen mitoitusmallia, kun halutaan estää/hidastaa mm. routavaurioiden syntyä. Teräsverkkojen Excel-mitoitustaulukko routavaurioiden estämiseksi on ladattavissa Turun ammattikorkeakoulun rakentamisen koulutusohjelman Internet-sivuilta.

Raportin on kirjoittanut Heli Kanerva-Lehto Turun ammattikorkeakoulun rakentamisen koulutusohjelman ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinäytetyönä. Työn ohjausryhmään kuuluivat Pentti Salo (Tiehallinto), Tuomo Kallionpää (Tiehallinto), Jussi Syrjynen (Tammet Oy), Harri Mäkelä (Innogeo Oy), Erkki Mäkelä (Ratahallintokeskus), Juha Forsman (Ramboll Finland Oy) ja Jouko Lehtonen (Turun ammattikorkeakoulu). Työn ovat rahoittaneet Tiehallinto, Tammet Oy ja Turun ammattikorkeakoulu.

Helsingissä toukokuussa 2009

Tiehallinto  
Asiantuntijapalvelut

**Sisältö**

1	JOHDANTO	11
1.1	Teräsverkot tierakennusmateriaalina	11
1.2	Kehittämishankkeen tavoitteet	12
1.3	Kirjallisuus, aineistot ja menetelmät	12
2	TERÄSVERKOT TIERAKENTAMISESSA	14
2.1	Teräsverkkojen käytön edut ja rajoitukset	14
2.2	Teräsverkkojen käyttö Suomessa	19
3	TERÄSVERKOLLISEN RAKENTEEEN SUUNNITTELU JA MITOITUS	25
3.1	Teräsverkko vahvisteena tierakenteessa	25
3.2	Teräsverkkojen käyttöön liittyvät Tiehallinnon ohjeet ja suositukset	27
3.3	Kuormituskestävyyssmitoitus	29
3.4	Routamitoitus	30
3.5	Routanousuero ja tierakenteen sivukaltevuuden muutos	32
3.6	Kevyen liikenteen väylien suunnittelun erityispiirteet	36
3.7	Teräsverkon mitoitus	37
4	UUSI TERÄSVERKON MITOITUSMENETTELY ROUTAVAUROIDEN ESTÄMISEKSI	41
4.1	Laskelmien perusteena oleva malli	41
4.2	Teräsverkon mitoituksen laskennan lähtötiedot	42
4.3	Esimerkki: Kuormitustapaus 1a, poikkileikkaus IIN-7/6	43
4.4	Laskelmien perusteella tehdyt havainnot	46
5	ELINKAARIKUSTANNUSTEN HALLINTA	48
5.1	Kuntotietorekisteri	48
5.2	Investointi- ja ylläpitopitokustannukset	48
5.3	Liikennetalous	52
6	RAKENTAMINEN	56
6.1	Asennusmenetelmät	56
6.2	Laadunvalvonta	63
6.3	Työturvallisuus	65
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	67
8	YHTEENVETO	70
9	LÄHTEET	73
10	LIITTEET	78



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Teräsverkot tierakennusmateriaalina

Maanteiden kunto ja palvelutaso ovat heikentyneet 1990-luvulta lähtien liikenteen kasvaneen rasituksen vuoksi (Belt et al. 2002, 17-20). Tieomaisuuteen liittyvän tiedon hallintaa on kehitetty erilaisin menetelmin 2000-luvun alusta lähtien (Murto et al. 2005). Kiristyneen valtiontalouden vuoksi teiden rakentamisen, ylläpidon ja luonnonvarojen käytön tehostamiseksi on jatkuvasti kehitettävä rakennusmateriaaleja ja uusia toimenpidevaihtoehtoja. Tavoitteisiin voidaan päästä esim. ohuemmilla, kestävämmillä ja uusiomateriaaleja sisältävillä rakenteilla. Teräsverkko on yksi vaihtoehto tällaisten rakenteiden toteuttamiseen.

Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa onkin useissa viime vuosien tutkimuksissa osoittautunut käyttökelpoiseksi menetelmäksi pitkäntähtäimen tienpito-kustannusten vähentämiseen. Tähän mennessä tehdyissä tutkimuksissa teräsverkkojen käytön on todettu pidentävän tierakenteen elinikää ja toimenpidevälejä. (Bianco et al. 2002, 16-18.)

Teräsverkkoja on käytetty tierakenteissa vahvisteena Ruotsissa 1960-luvulta ja Suomessa 1970-luvun lopulta lähtien etenkin routahalkeamien estämiseksi. Suomessa teräsverkkoa käytettiin aluksi pääosin Itä- ja Pohjois-Suomessa. Käyttömääristä 1970- ja 80-luvulta ei ole tarkkoja tietoja. Kevyen liikenteen väylillä teräsverkkoja on käytetty 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Oulun ja Lapin tiepiiriä lukuun ottamatta Suomessa teräsverkkoja on käytetty kevyen liikenteen väylillä enemmän vasta 2000-luvulla. Syyksi tähän on nähty mm. se, että teräsverkkoa on totuttu käyttämään maanteiden rakenteen parantamisen yhteydessä olemassa olevien routavaurioiden korjaamisessa. (Kallio 2000, 23.)

Kansainvälisesti lujitteita on käytetty sidotuissa kerroksissa eniten heijastushalkeamien estämiseen, sitomattomissa kerroksissa kantavuusvaurioiden korjaamiseen ja urautumisen estämiseen. Suomessa ja Ruotsissa suurimpana ongelmana ovat roudan aiheuttamat pituushalkeamat sekä myös urautuminen. Lujitteista käytetyimpiä ovat teräsverkot ja geosyntetit. (Rathmayer et al. 2006, 9-11.)

Teräsverkkojen vaikutuksista tien kuntoon on olemassa lukuisia yksittäisiä tutkimuksia ja koekohteita sekä laajempia, kansallisia tai kansainvälisiä tutkimusohjelmia. Merkittävin eurooppalainen tutkimusohjelma on vuosina 1999 - 2002 toteutettu Reflex-projekti (Gustafsson et al. 2002). Suomessa teräsverkkojen vaikutusta on tutkittu lisäksi mm. Tiehallinnon TPPT-tutkimusohjelmassa (Tien pohja- ja päällysrakenteiden tutkimusohjelma) vuosina 1994 - 2001 (Kivikoski et al. 2002) ja S14 Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito -tutkimusohjelmassa vuosina 2002 - 2005 (Lämsä & Belt 2005), VTT:n HVS-Nordic-koerakenteissa (Korkiala-Tanttu 2003) sekä vuosina 1995-1997 toteutetuissa Geovahvistetutkimuksen (Forsman 2001) koerakennus- ja seurantakohteissa.

Teräsverkkojen käytön suunnittelun ongelmana on, että tällä hetkellä ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä menetelmää teräsverkkojen mitoittamiseen mm. tierakenteen urautumisen tai routahalkeamien estämisen osalta. Teräsverkon vaikutus tien eri rakennekerroksissa pohjautuu useampiin vaikutusmekanismeihin eikä yksinkertaistetuilla malleilla ja menetelmillä pystytä huomioimaan kaikkia osa-alueita. Suunnittelumenetelmien yhteensovittamista vaikeuttaa myös eri maiden erilaiset mitoitusmenetelmät ja käytännöt. Teräsverkollisen tierakenteen mitoittamiseen liittyvistä tutkimusohjelmista on viimeksi valmistunut eurooppalainen COST REIPAS-hanke ja hankkeen Suomen kansallinen osa ”Tie- ja katurakenteiden elinkaaren pidentäminen lujitteiden avulla”. (Rathmayer et al. 2006.)

## 1.2 Kehittämishankkeen tavoitteet

Tämän kehittämishankkeen idea lähti liikkeelle havainnosta, että teräsverkoista on paljon julkaistua kirjallisuutta ja uutta tutkimustietoa. Ongelmana on kuitenkin se, että teräsverkkojen käytöstä tierakenteissa ei ole olemassa yleisesitystä, ja tieto on sekä suunnittelijoiden että tilaajien vaikeasti saavutettavissa ilman laajamittaisempaa työtä ja perehtymistä aihepiiriin. Koska teräsverkkojen käytöllä saavutettavat taloudelliset ja toiminnalliset hyödyt ovat selkeästi osoitettavissa, on teräsverkkoja koskevaa tietoa haluttu koota yhteen.

Raportin tavoitteena on tuoda esille teräsverkkojen keskeiset hyödyt ja käytömahdollisuudet tutkimustuloksiin perustuen. Lisäksi työssä on tuotu esille teräsverkkojen käyttötiedot tierekisterin tietojen perusteella. Keskeisimpänä tehtävänä on teräsverkkojen huomioiminen suunnittelussa ja mitoituksessa sekä kehittää menetelmää teräsverkkojen mitoittamiseen kohteissa, joissa halutaan estää routahalkeamien syntyä.

## 1.3 Kirjallisuus, aineistot ja menetelmät

Työ perustuu pääasiallisesti kirjallisuustutkimukseen ja siitä saadun tiedon soveltamiseen. Teräsverkkojen käytön suunnittelua ja teräsverkollisen tierakenteen rakentamista koskevaa suomenkielistä kirjallisuutta on löydettävissä 1990-alusta lähtien. Erityisesti 2000-luvulla kirjallisuutta on julkaistu merkittävästi aikaisempaa enemmän ja teräsverkoista (ja muista geovahvisteista) on tehty tarkasti dokumentoituja tutkimuksia. Suuri osa näistä julkaisuista perustuu Tielaitoksen ja Tiehallinnon mm. edellä mainittuihin tutkimusohjelmiin ja alan kehittämistoimintaan. Ulkomaista kirjallisuutta on ollut jonkin verran saatavilla, mutta osa julkaisuista on seminaarijulkaisuja tai sen verran iäkkäitä, että niiden saatavuus on ollut heikko.

Ohjeistuksessa teräsverkkojen käyttö tierakentamisessa on todennäköisesti ensimmäisen kerran mainittu Tiehallituksen vuonna 1991 valmistuneessa tien rakenteen parantamista koskevassa ohjeluonnoksessa. Viime vuosina uusituissa ohjeissa, jotka koskevat mm. tierakenteen suunnittelua, rakenteen parantamista ja pohjarakentamista, teräsverkkojen käytöstä saatua tutkimustietoa on hyödynnetty ja keskeiset tulokset on otettu mukaan ohjeisiin soveltuville osin. Tutkimus- ja kehitysohjelmien tulokset ovat tärkeässä asemassa myös tulevaisuuden ohjeistuksen kannalta.

Työssä esitettävät teräsverkkoja koskevat tilastotiedot on saatu Tiehallinnon tierekisteristä. Teräsverkkoja koskevia tierekisteritietoja on saatavilla vuodesta 1994 lähtien. Tätä aiemmin mm. Oulun tiepiirissä on pidetty omaa taulukkoa asennetuista teräsverkoista, mutta nämä kaikki tiedot eivät näy tierekisterissä. Kevyen liikenteen väylien osalta tierekisterissä on tietoa teräsvetotetuista osuuksista vuodesta 2000 eteenpäin, joskin pääosa näistä on kirjattu viimeisen kolmen vuoden aikana.

Routavaurioiden estämiseksi kehitetyllä teräsverkon mitoitussmallilla on tehty esimerkkilaskentoja eri mitoitusroudansyvyyksillä mallin toimivuuden testaamista ja tarkastelua varten. Tarvittavan teräsmäärän laskennassa on menetelty raudoitetun betonirakenteen teräsmäärän laskennan mukaisesti.

## 2 TERÄSVERKOT TIERAKENTAMISESSA

### 2.1 Teräsverkkojen käytön edut ja rajoitukset

#### Käyttökohteet tierakentamisessa

Teräsverkkoja käytetään tierakenteissa lujitteina hidastamaan erilaisia vaurioitumisprosesseja, jotka voivat ilmetä useina erityyppisinä tierakenteen pinnalla esille tulevina vaurioina.

Teräsverkkojen käyttökohteita ovat:

- routanousuhalkeamien estäminen
- urautumisen vähentäminen
- tien leventäminen
- heijastushalkeaminen estäminen
- sorateiden vahvistaminen
- pohjanvahvistaminen ja stabiiliteetin parantaminen (Kallio 2000, 25; Gustafsson et al. 2002, 15-20; Sandberg & Björnfot 2004, 21-72).

#### Teräsverkkojen käytön edut

Teräsverkoilla voidaan useiden tutkimusten mukaan pidentää tierakenteen toiminta-aikaa (Bianco et al. 2002, 16 -18; Gustafsson et al. 2002, 9; Korkiala-Tanttu et al. 2003, 19-29, 35-38 ; Kivikoski et al. 2002, 112-115). Päällysteen kulumisen asettaa kuitenkin omat rajoituksensa käyttöiälle. Teräsverkkojen käytöstä ei vielä tällä hetkellä ole saatavilla pitkäaikaisseurantaan pohjautuvaa tilastollisesti analysoitua tietoa, ja siksi pitkäaikaisvaikutukset ja niiden kaikki mekanismit eivät ole selvillä. Tällä hetkellä on kuitenkin Suomessa olemassa tie- ja kuntotietorekisteritietoja jo noin 15 vuoden ajalta.

Teräsverkkojen käytöllä voidaan vähentää tierakenteeseen syntyviä pysyviä muodonmuutoksia, sidottujen kerrosten väsymistä ja routanousueroista aiheutuvia halkeamia. (Gustafsson et al. 2002, 13 -14.) Teräsverkkojen vaikutus tulee parhaiten esiin tieosilla, joissa on riittämätön kuormituskestävyys- ja routamitoitus (Korkiala-Tanttu et al. 2003, 31). Teräsverkon vaikutus tierakenteessa riippuu osittain myös siitä, mihin kohtaan rakennetta teräsverkko sijoitetaan.

#### *Routanousuhalkeamien estäminen*

Teräsverkkojen on havaittu tutkimus- ja koeosuuksilla vähentävän merkittävästi tien keskikohdan ja reunan välisestä routanousueroista aiheutuvia pitiushalkeamia. Routanousueron syntyminen on mahdollista silloin, kun tien reunassa on routautumiselta suojaava lumikerros toisin kuin ajokaistoilla. Tierakenteessa oleva teräsverkko tasaa rakenteeseen syntyviä jännityksiä ja estää halkeaminen synnyn keskelle tietä ja siirtää ne pientareelle. Teräsverkot lieventävät myös poikkisuuntaisten routahalkeamien syntymistä ja vähentävät niiden leveyttä ja määrää. (Kallio 2000; Saarelainen 2001, 20; Gustafsson et al. 2002).

Oulun tiepiirissä vuonna 1989 toteutetussa koerakennuskohteessa valtatiellä 4 perusparannettiin teräsverkkojen avulla muun muassa roudan aiheuttamia vaurioita. Neljän vuoden seurannan jälkeen teräsverkkolliset osuudet olivat edelleen vaurioitumattomia, kun taas kunnostetuilla teräsverkottomilla tieosuuksilla 40 -100 %-lla osuuksien pituudesta esiintyi routahalkeamia. Tutkimus vahvisti aikaisempia kokemuksia teräsverkkojen käytöstä routahalkeamien ehkäisyssä. (Heikkinen 1993, 9-17.) TPPT- ja Reflex -tutkimusohjelmien tulokset vahvistavat näitä tuloksia. Teräsverkotetuilla teillä routahalkeamia esiintyi hyvin vähän tai ei ollenkaan (Kivikoski et al. 2002; Gustafsson et al. 2002, 47, 138). Heikkokuntoisen päällystetyn alemman tieverkon ylläpito –projektin raportissa (kuului Tiehallinnon S14-tutkimusohjelmaan) toimenpidevaihtoehtona routahalkeamien ja harjanteiden (urautumisen mittari) korjaukseen suositellaan teräs- tai vastaavan lujiteverkon käyttöä (Belt & Lämsä 2005, 31; Lämsä et al. 2005,16-17, 22). Ruotsin pohjoisosissa koeteillä on viimeisen 15 - 20 vuoden aikana havaittu, että teräsverkot ja lasikuitumatto ovat ainoat menetelmät, joilla mm. routahalkeamat saadaan kuriin (Sandberg & Björnfot 2004, 22).



*Kuva 1. Teräsverkkojen pääasiallinen käyttökohde Suomessa on routanousuhalkeamien estäminen.*

#### *Kevyen liikenteen väylien routanousuhalkeamien estäminen*

Kevyen liikenteen väylät ovat kapeutensa ja ohuemman rakenteensa johdosta maanteitä alttiimpia routavaurioille. Pituushalkeamien syntymiseen riittää maanteihin verrattuna noin puolet pienempi routanousuero (Kallio 2000, 17 - 18). Koska kevyen liikenteen väylillä liikutaan jalan tai pyörällä vaikuttavat roudan aiheuttamat vauriot koettuun palvelutasoon enemmän kuin vastaavat ongelmat maanteillä.





*Kuva 2. Routanousuhalkeamat voivat ajan kuluessa muodostua hyvinkin leveiksi ja heikentävät etenkin kevyen liikenteen väylien palvelutasoa.*

#### *Urautumisen vähentäminen*

Liikennekuormituksesta aiheutuvaan tierakenteen väsymiseen ja urautumiseen voidaan vaikuttaa teräsverkoilla. Urautumista voidaan vähentää myös päällysteen koostumuksella ja paksuudella. (Gustafsson et al. 2002, 15.)

Teräsverkkojen on todettu hidastavan urautumista ja keskimäärin teräsverkollisten tierakenteiden urasyvyyydet ovat olleet 40 – 60 % pienempiä kuin teräsverkottomilla rakenteilla. Teräsverkollisen tierakenteen käyttöiän pidentyminen olisi noin 50 -100 % samalla urasyvyydellä kuin verkottomallakin rakenteella. (Gustafsson et al. 2002, 43; Korkiala-Tanttu et al. 2003, 50.) Samansuuntainen havainto on tehty Oulun tiepiirin alueella analysoiduista rekisteritiedoista (Järvinen 2003, 13 -15).

Jyrkkäluiskaiselle koerakenteelle tehdyillä koekuormituksilla saadut tulokset osoittivat, että teräsverkon lankakoolla ei näyttänyt olevan vaikutusta urautumisnopeuteen silloin kun teräsverkko on asennettu päällystekerrosten väliin. Tällöin teräsverkon kapasiteetista on käytössä vain pieni osa, ja pienempikin lankakoko urautumisen estämisessä riittää. (Korkiala-Tanttu et al. 2003, 46, 51.)

#### *Tien leventäminen*

Teiden levennyksiä tehdään parannustoimenpiteiden yhteydessä liikennejärjestelmän palvelutason ja turvallisuuden nostamiseksi, sekä mm. ohituskais-toja ja risteysalueiden väistötiloja toteutettaessa. Ongelmana ovat usein vanhan rakenteen ja levennyksen väliseen rajapintaan muodostuvat halkeamat. Ne johtuvat mm. levennysosan pohjamaan nopeammasta tiivistymi-

sestä (Uotinen 1996, 47.) Halkeamat ilmestyvät usein nopeasti ja niitä voidaan joutua korjaamaan pahimmassa tapauksessa vuosittain. (Sandberg & Björnfot 2004, 67 - 70.)

Geovahvisteet, teräsverkko mukaan lukien, ottavat vastaan penkereen painosta muodostuvaa vaakasuuntaista kuormitusta, vähentäen näin pysyviä muodonmuutoksia, kuten vaakasiirtymiä ja tierakenteen yläpinnan venymää. Vahvisteiden avulla osa syntyvistä voimista siirtyy vanhaan tiepenkereeseen. Mallilaskentojen perusteella toimivimmat ratkaisut tien levennyksissä ovat vahvisteiden pussi- ja yhdistelmärakenteet (Uotinen 1996, 85, 108-109.) Teräsverkot vähentävät myös halkeamien syntymistä uuden ja vanhan rakenteen rajakohtiin. Eräässä koekohteessa halkeamien syntymisen esti teräsverkon noin metrin ylitys levennyksen epäjatkuvuuskohdassa. Mikäli vahviste asennetaan matalissa penkereissä jo rakentamisen aikana, saadaan parhaat tulokset sijoittamalla teräsverkko kantavaan kerrokseen. Korkealla penkereellä saattavat painumat olla niin suuria että halkeamia syntyy teräsverkon asentamisesta huolimatta. (Väisänen 2001, 83-84.)

#### *Heijastushalkeaminen estäminen*

Tierakenteisiin jälkeinpäin tehtyihin kaivantoihin ja levennyksiin syntyvät heijastushalkeamat saavat usein aikaan päällysrakenteiden nopeamman vaurioitumisen ja heikentävät tien palvelutasoa. Heijastushalkeamia esiintyy erityisesti myös vanhoilla betoniteillä, jotka on myöhemmin päällystetty asfalttibetonilla. Pääosin liikennekuormituksesta johtuvia heijastushalkeamia voidaan vähentää teräsverkkojen käytöllä, koska verkot tässäkin tapauksessa jakavat tierakenteeseen kohdistuvaa kuormitusta. (Gustafsson et al. 2002, 19.)

Teräsverkkojen vaikutusta heijastushalkeamiin ja heijastushalkeamien muodostumista on tutkittu laboratorio-olosuhteissa mm. Ruotsissa. Teräsverkkojen on havaittu vähentävän heijastushalkeamien määrää noin 35 %. (Gustafsson et al. 2002, 45-47.) TPPT- tutkimusohjelmassa Kehä III:lle rakennetun koekohteen tulosten perusteella maabetonirakenteen heijastushalkeamat eivät ole ehkäistävissä päällysteessä olevilla geolujitteilla. Riittävän paksu teräsverkko asennettuna maabetonikerroksen sisään pystyy estämään heijastushalkeamat. (Alkio et al. 2002, 11-14, 34.) Teiden levennyskohteissa teräsverkot estävät heijastushalkeamien syntymistä tehokkaasti lukuun ottamatta verkkojen saumakohtia (Väisänen 2001, 90.)

#### *Sorateiden vahvistaminen*

Sorateilla teräsverkkoja on käytetty kelirikkovaurioiden ja urautumisen sekä tierakenteen latistumisen vähentämiseen (Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen 1994, 69, 79; Aho et al. 2005, 21 - 22). Sorateille on rakennettu teräsverkollisia koekohteita, mutta laajempi raportoitu aineisto puuttuu. Kuitenkin Suomessa saadut kokemukset ovat olleet pääosin hyviä. (Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen 1994, 67 - 69; Jyrävä & Haavikko 1999, 2, 45; Saarelainen & Halonen 2005; Lahtinen & Jyrävä 2006). Myös Ruotsissa on tehty joitakin pieniä koekohteita, mutta kokemuksista ei ole raportoitu. (Sandberg & Björnfot 2004, 71.)

Teräsverkkojen käytön on todettu vähentävän sorateiden kelirikkovaurioita (urautumista, painumia ja muita pysyviä muodonmuutoksia). Tämän on nähty johtuvan siitä, että raudoite estää sijoitustasonsa alapuolisia vaakamuodonmuutoksia. Teräsverkkoa voidaan käyttää sorateiden parantamisessa erityisesti silloin, kun pohjamaan kantavuus on erittäin heikko ja paksujen rakennekerroksien katsotaan aiheuttavan suuria ja/tai epätasaisia painumia. Teräsverkko tulee tällöin myös edullisemmaksi verrattuna paksuihin rakennekerroksiin. Kokemusten mukaan rumpujen ja johtolinjojen kohdalla teräsverkon käyttöä tulee välttää. (Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen 1994, 72 – 73; Aho et al. 2005, 24-25.) Lisäksi teräsverkon lujitusvaikutusta sitomattomissa kerroksissa voisi olla mahdollista parantaa murskeen raekokoa kasvattamalla tai teräsverkon silmäkokoa pienentämällä (Saarelainen 2001, 20).

#### *Kantavuuden parantaminen*

Eri tutkimusohjelmien kantavuusmittauksissa on havaittu pieniä lisäyksiä tierakenteiden kantavuusarvoissa teräsverkollisissa tierakenteissa. Teräsverkkojen vaikutukset kantavuuteen tulevat esille toissijaisena, kun halkeamat vähenevät ja/tai tierakenne tiivistyy, ja kuormat lukkiutuvat ja siirtyvät teräsverkkoon. Mittausmenetelmät vaikuttavat myös mitattuihin kantavuusarvoihin. Levykuormituslaitteilla on mitattu hieman suurempia kantavuuksia kuin pudotuspainolaitteilla. Menetelmä on kuitenkin nähty soveltumattomaksi teräsverkollisen rakenteen kantavuuden mittaamiseen. (Gustafsson et al. 2002, 43 - 44.) HVS-Nordic-koerakenteella jyrkkäluiskaisella koetiellä tehdyissä kantavuusmittauksissa pudotuspainolaitteilla ei havaittu kantavuuden paranemista (Korkiala-Tanttu et al. 2003, 47). Leppävirralla sorateillä toteutetuissa koe kohteissa kevätkantavuuksissa eroja ei ole havaittu, mutta kesäkantavuudet ovat olleet selkeästi korkeampia. (Saarelainen & Halonen 2005, 3, 20-21; Aho et al. 2005, 21-22; Lahtinen & Jyrävä 2006, 21-25.)

#### *Pohjanvahvistaminen ja stabiiliteetin parantaminen*

Teräsverkkkoja on käytetty hyödyksi teiden pohjarakenteiden vahvistamisessa. Paalutettaessa ja stabiloitaessa pohjarakenteita teräsverkkoja voidaan käyttää kuormien siirtämiseen paaluille tai pilareille. Tällaisessa rakenteessa teräsverkko reagoi nopeasti kuormien lisäykseen ja holvaa kuormia pilareille/paaluille. (Törnqvist & Juvankoski 2003, 105-110.)

Teräsverkkojen vaikutusta tierakenteen painumiskäyttäytymiseen on testattu mallintamisen avulla. Mallinnuslaskennoissa havaitut vaikutukset painumiin ovat olleet noin 2 - 10 % eikä menetelmää ole näiden tulosten perusteella pidetty mielekkäänä (Mäkelä 1998, 189-195.) Toisaalta kokeiltaessa geovahvisteita ja teräsverkkoja harvennetun syvästabiloinnin varaisessa tiepenkereessä painumaerot ovat olleet vain kolmasosa vahvistamattomissa rakenteissa todetuista painumaeroista. (Honkala 2003).

Lujiteverkkojen avulla voidaan parantaa myös tierakenteen stabiiliteettia. Kun lujiteverkon ja tierakenteen välinen ankkuroituminen on riittävä, ja verkko ulotetaan tierakenteessa riittävän pitkälle sivusuunnassa verkkoon syntyvän vetovoiman ankkuroimiseksi, estyy liukuminen lujiteverkon ja tierakenteen rajapintaa pitkin. Riittävä liukumisvastus ja lujiteverkon ankkurointipituus tu-

lee tarkistaa tapauskohtaisesti. (Aalto et al. 1998, 26-27.) Näitä teräsverkon ominaisuuksia voidaan hyödyntää esimerkiksi silloin, kun tierakenne on jyrkkäluiskainen.

### **Teräsverkkojen käytön rajoitukset**

Teräsverkkojen vaikutukset ja hyödyt tulevat parhaiten esille erittäin routivil- la, huonosti kantavilla pohjamailla tai paljon kuormitetuilla tieosuuksilla. (Korkiala-Tanttu et al. 2003, 35.) Hyvän kantavuuden ja routimattomuuden omaavilla teillä vastaavaa hyötyä ei saada, koska ylläpitotoimenpiteitä tarvi- taan vasta esim. päällysteen kulumisen tai säärasituksista johtuvan rapau- tumisen vuoksi. Lisäksi tutkimus- ja koekohteissa ei ole havaittu, että teräs- verkoilla voitaisiin vaikuttaa tien pituussuuntaiseen epätasaisuuteen. Myös- kään poikkisuuntaisia halkeamia teräsverkoilla ei saatu estettyä, mutta nii- den muodostuminen on hidastunut (Said et al. 2001, 51).

Teräsverkon käytöstä aiheutuu ongelmia lähinnä silloin, kun tierakenteita, jyrsitään tai puretaan. Jos teräsverkkoja on asennettu esimerkiksi johto- tai kaapelilinjoille, heikkenee teräsverkkojen toiminta oleellisesti verkkoja leikat- taessa, ellei verkotusta uusita riittävän isolta alalta. (Gustafsson et al. 2002, 79.) Kun teräsverkon tarkka sijainti on tiedossa, voidaan teräsverkot huomi- oida sekä työturvallisuuden osalta että arvioitaessa hankkeen kokonaiskus- tannuksia lisääntyneen työmäärän kannalta.

## **2.2 Teräsverkkojen käyttö Suomessa**

### **Maantiet**

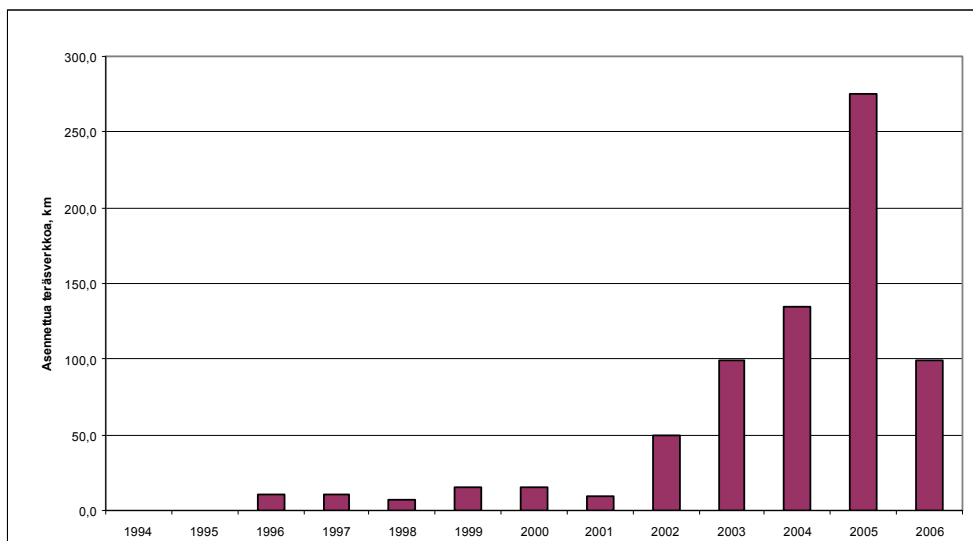
Ensimmäisen kerran teräsverkkoa tiedetään Suomessa käytetyn vuonna 1974 Oulun tiepiirissä, jossa teräsverkkojen käyttö yleistyi 1980-luvun lop- pupuolella. Oulun tiepiirissä teräsverkkokohteet on kirjattu vuodesta 1997 alkaen pidettyyn erikoisrakennerekisteriin. (Leislahti 2004, 26 - 27.) ja sit- temmin valtakunnalliseen tierekisteriin. Teräsverkkojen käyttömääriä Suo- messa voidaan arvioida Tiehallinnon tierekisteritietojen perusteella sekä te- räsverkkotoimittajien toimitusmäärien perusteella. Tierekisteristä saataviin tietoihin pitää tosin suhtautua varauksella, koska tietojen kirjauskäytännöissä on ollut tiepiiri- ja vuosikohtaisia eroja. Vuoteen 1998 mennessä tiedetään teräsverkkoja asennetun yhteensä noin 300 km, joista Oulun tiepiirin alueella noin 251 km ja Lapin tiepiirin alueella noin 30 km. (Väisänen 2001, 8-9.) Suurin osa näistä osuuksista ei ole nykyisessä tierekisterissä, koska vuosina 1994 - 1998 teräsverkkoja on tierekisterin mukaan asennettu vain noin 29 km.

Tierekisteristä löytyy tietoja vuodesta 1994 lähtien. Taulukosta 1 voidaan havaita, että vuosina 1994 - 2006 Suomessa on asennettu teräsverkkoja yleisille teille yhteensä 736,5 km, mikä on 0,9 % koko maan yleisistä teistä. Oulun tiepiirin alueella on teräsverkkoa asennettu eniten sekä kilometrimää- räisesti (263 km) että prosentuaalisesti tieverkon pituudesta (2,1%). Vä- häisintä teräsverkkojen käyttö on ollut Keski-Suomen, Vaasan, Hämeen ja Turun tiepiireissä, joissa tierekisterin mukaan on teräsverkkoa asennettu alle 40 km matkalle.

*Taulukko 1. Suomessa vuosina 1994 - 2006 asennetut teräsverkot tierekisterin tietojen mukaan.*

Tiepiiri	Asennettua teräsverkkoa, km	Tieverkkoa yhteensä	Teräsverkkoa % tieverkosta
Uusimaa	55,7	4649	1,2
Turku	31,1	8002	0,4
Kaakkois-Suomi	49,6	8992	0,6
Häme	34	9510	0,4
Savo-Karjala	135,9	11106	1,2
Keski-Suomi	20,5	5306	0,4
Vaasa	26,2	8721	0,3
Oulu	263,1	12740	2,1
Lappi	120,4	9127	1,3
<b>Yhteensä</b>	<b>736,5</b>	<b>78153</b>	<b>0,9</b>

Tierekisterin mukaan teräsverkkojen käytön kasvu näyttää hyvinkin jyrkältä, mutta tässä kohtaa pitää ottaa myös huomioon tiepiirien erilaiset kirjauskäytännöt. Lisäksi kaikki vuoden 2006 aikana asennetut teräsverkko-osuudet eivät välttämättä ole olleet kirjattuna syksyllä 2007, jolloin teräsverkkoja koskevat tiedot on tierekisteristä kerätty (ks. kuvio 1).

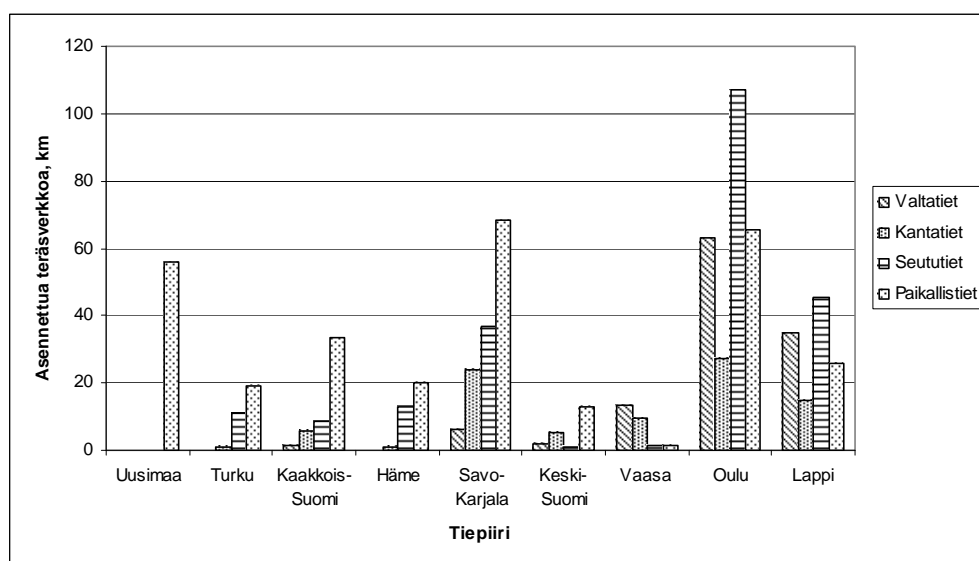


*Kuvio 1. Vuosina 1994 - 2006 asennetut teräsverkot tierekisterin mukaan.*

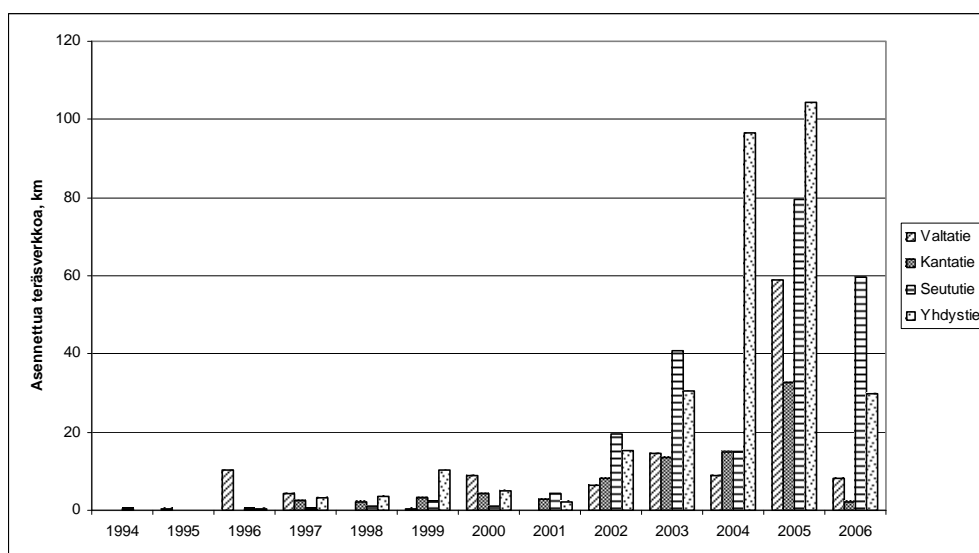
Teräsverkkojen käyttö on selkeästi jakaantunut eri tieluokkien kesken taulukon 2 sekä kuvioiden 2 ja 3 mukaisesti (ks. myös liite 1). Teräsverkkoja on käytetty enimmäkseen teiden parannushankkeiden yhteydessä alemmilla tieluokilla. Tierekisterissä käyttötapaa ei ole taulukoitu. Käytön jakautumiseen vaikuttaa tietysti myös se, että yhdysteitä ja seututeitä on kilometrimääräisesti enemmän kuin valtateitä ja kantateitä.

Taulukko 2. Tiepiireissä eri tieluokille vuosina 1994 - 2006 asennetut teräsverkot.

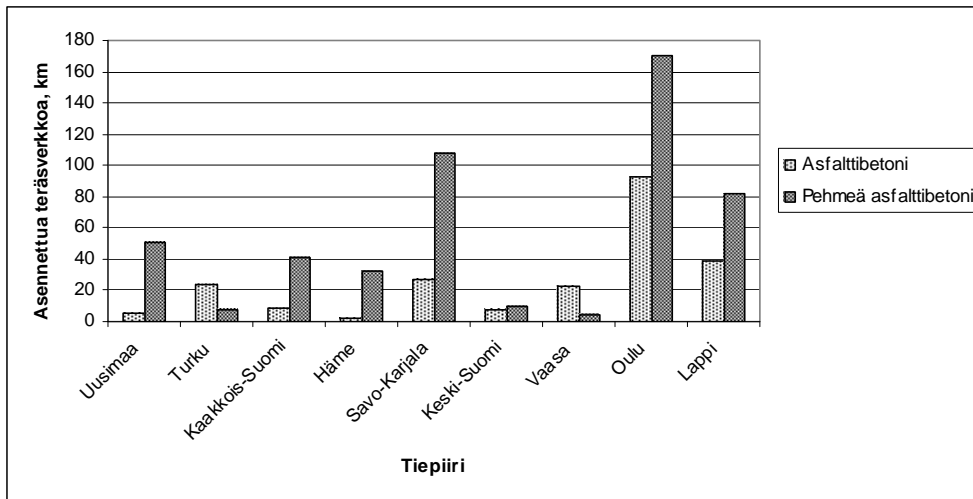
Tiepiiri	Valtatiet, km	Kantatiet, km	Seututiet, km	Yhdystiet, km
Uusimaa	0	0	0	55,7
Turku	0	1	11,1	19,1
Kaakkois-Suomi	1,6	5,9	8,7	33,4
Häme	0	1	12,7	20,3
Savo-Karjala	6,2	24,1	36,8	68,5
Keski-Suomi	1,9	5,4	0,8	12,7
Vaasa	13,6	9,8	1,5	1,4
Oulu	63,3	27,4	107	65,4
Lappi	35	14,8	45,3	25,6
<b>Yhteensä</b>	<b>121,6</b>	<b>89,4</b>	<b>223,9</b>	<b>302,1</b>



Kuvio 2. Tiepiireissä eri tieluokille vuosina 1994 - 2006 asennetut teräsverkot.



Kuvio 3. Vuosina 1994 - 2006 asennetut teräsverkot tieluokittain.



Kuvio 4. Teräsverkkojen käyttö tiepiireissä päällystetyypeittäin vuosina 1994-2006.

Kuviosta 4 havaitaan, että teräsverkkoja on käytetty enemmän teillä, joilla on päällysteenä pehmeä asfalttibetoni. Myös tämä johtuu teräsverkkojen käytöstä alempiluokkaisilla ja/tai vähäliikenteisillä teillä, joilla mm. rakenne-paksuudet ja kantavuus eivät ole samaa luokkaa kuin valtateillä tai kanta-teillä.

Tarkemmat tiepiiriokohtaiset tiedot teräsverkkojen käytöstä tierekisterin tietojen mukaan löytyvät liitteestä 1.

Teräsverkollisista kaupunkien ja kuntien ylläpitämistä katu-/tieosuuksista ei ole kerätty tietoa systemaattisesti, mutta joidenkin kaupunkien osalta tietoja löytyy vuoteen 2004 saakka (ks. taulukko 3). Muissa kuin taulukossa esiintyvissä isommissa kaupungeissa teräsverkkoja ei ole ollut käytetty. Yleisin syy käyttämättömyyteen on ollut katujen alapuolisten laitteiden korjaamisen yhteydessä mahdollisesti syntyvät haitat (Leislahti 2004, 30.)

Taulukko 3. Teräsverkkojen käyttömääriä ajoradoilla eri kaupungeissa (Leislahti 2004, 30 – 39).

Kaupunki	Määrä, km	Teräsverkon sijainti	Käyttötarkoitus
Joensuu	5,8	sidottu kerros	Routavauriot
Jyväskylä	1,7	kantava kerros	Routavauriot
Kuopio	0,7	sidottu kerros	Routavauriot
Lahti	0,5	ei tietoa	Routavauriot
Oulu	0	0	0
Tampere	0	0	0
Turku	3 kohdetta	ei tietoa	Painumien tasaaminen

### Kevyen liikenteen väylät

Tierekisterin mukaan kevyen liikenteen väylille on asennettu teräsverkkoa vuosien 2000 - 2007 aikana yhteensä 60,7 km. Kuten taulukosta 4 havaitaan, on pääosa teräsverkoista asennettu itäisen ja pohjoisen Suomen alueelle. Tieriekisterin mukaan Hämeen ja Vaasan tiepiireissä teräsverkkoa ei ole asennettu kevyen liikenteen väylille. Asennettujen teräsverkkojen osuus kevyen liikenteen väyläverkosta on merkittävin Oulun tiepiirissä, 4,8 %, sekä Savo-Karjalan tiepiirissä, 3 %. Tieriekisterin aineistoon tulee kuitenkin suhtautua pienellä varauksella myös kevyen liikenteen väylien osalta (Kallio 2000).

Taulukko 4. Kevyen liikenteen väylille tiepiireissä asennetut teräsverkot.

Tiepiiri	Asennettua teräsverkkoa, km	Kevyen liikenteen väylät, km	Teräsverkotettua kevyen liikenteen väylää %
Uusimaa	1,3	644	1,2
Turku	2,7	685	0,4
Kaakkois-Suomi	7,4	459	1,6
Häme	0	695	0,0
Savo-Karjala	14,7	484	3,0
Keski-Suomi	2,6	324	0,8
Vaasa	0	671	0,0
Oulu	26,4	545	4,8
Lappi	5,6	477	1,2
<b>Yhteensä</b>	<b>60,7</b>	<b>4984</b>	<b>1,2</b>

Taulukosta 5 puolestaan havaitaan, että pääosa tieriekisterissä olevista kevyen liikenteen väylien teräsverkoista on asennettu vuosina 2005-2007 Kaakkois-Suomen, Savo-Karjalan, Oulun ja Lapin tiepiireissä. Oulun tiepiirissä teräsverkkoja on kuitenkin käytetty jo ennen vuotta 2000 (Kallio 2000, 7-8). Vuosina 2006 ja 2007 teräsverkkoja on aloitettu asentaa myös muissa tiepiireissä. Selityksenä tähän voi olla kokemusten ja tutkimustiedon leviäminen sekä vuonna 2005 voimaan tullut tierakenteiden suunnittelun uudistettu ohjejulkaisu ja siinä olevat suositukset (Tierakenteen suunnittelu 2005, 58-59).

Taulukko 5. Tieriekisterin mukaan kevyen liikenteen väylille vuosina 2000 - 2007 asennetut teräsverkot tiepiireittäin.

Tiepiiri	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Uusimaa	0	0	0	0	0	0	0	1,3
Turku	0	0	0	0	0	0	2,7	0
Kaakkois-Suomi	0	0	0	0	0	0	0,2	7,2
Häme	0	0	0	0	0	0	0	0
Savo-Karjala	0	0	0	0	5,2	0,5	2,5	6,5
Keski-Suomi	0	0	0	0	0	0	0	2,6
Vaasa	0	0	0	0	0	0	0	0
Oulu	1,5	0	2,6	2,1	0	6,3	7,1	6,7
Lappi	0	0	0	0	0	3,4	0,5	1,8
<b>Yhteensä</b>	<b>1,5</b>	<b>0</b>	<b>2,6</b>	<b>2,1</b>	<b>5,2</b>	<b>10,2</b>	<b>13</b>	<b>26,1</b>



Teräsverkkoista pääosa on asennettu väylille, joissa päällysteenä on käytetty asfalttibetonia (ks. taulukko 6). Tätä selittää mm. se seikka, että kevyen liikenteen väylien päällystystä koskevassa ohjeistuksessa väylien palvelutason parantamiseksi suositellaan päällysteenä käytettävän kovaa asfalttibetonia (Kevyen liikenteen suunnittelu 1998, 72).

*Taulukko 6. Ttierekisterin mukaan kevyen liikenteen väylille vuosina 2000 - 2007 asennetut teräsverkot väylien päällystetyyppien mukaan tiepiireittäin.*

<b>Tiepiiri</b>	<b>Asennettua teräsverkkoa, km</b>	<b>Asfalttibetoni, km</b>	<b>Pehmeä asfalttibetoni, km</b>	<b>Sorakulutuskerros, km</b>
Uusimaa	1,3	1,3	0	0
Turku	2,7	2,7	0	0
Kaakkois-Suomi	7,4	5,1	0	0
Häme	0	0	0	0
Savo-Karjala	14,7	14,7	0	0
Keski-Suomi	2,6	2,6	0	0
Vaasa	0	0	0	0
Oulu	26,4	20,8	5,4	0,2
Lappi	5,6	0	5,6	0
<b>Yhteensä</b>	<b>60,7</b>	<b>47,2</b>	<b>11</b>	<b>0,2</b>

Kaupunkien ylläpitämien kevyen liikenteen väylien osalta löytyy myös joitakin tietoja samoin kuin katujen osaltakin (ks. taulukko 7).

*Taulukko 7. Teräsverkkojen käyttömääriä kevyen liikenteen väylillä eri kaupungeissa vuoteen 2004 saakka (Leislahti 2004, 30 - 41).*

<b>Kaupunki</b>	<b>Määrä, km</b>	<b>Teräsverkon sijainti</b>
Joensuu	4,5	sidottu kerros
Jyväskylä	7,7	sidottu kerros
Kuopio	7,1	sidottu kerros
Lahti	0,1	ei tietoa
Oulu	0,5	ei tietoa
Tampere	0,2	ei tietoa
Turku	0	0

### 3 TERÄSVERKOLLISEN RAKENTEEEN SUUNNITTELU JA MITOITUS

#### 3.1 Teräsverkko vahvisteena tierakenteessa

##### Teräksen materiaaliominaisuudet

Teräsverkkojen tulee täyttää Suomen Standardoimisliiton standardeissa esitetty vaatimukset kemiallisen koostumuksen ja valmistuksen (mm. lujuus, liitokset, laatuvaatimukset, muoto) suhteen (SFS 1257, SFS 1260). Tierakenteissa käytettävät teräsverkot valmistetaan kylmämuokatussa tilassa (B) kylmämuokatusta harjatangosta (K), yleisimmin B500K, mutta myös B700K joissakin tapauksissa (Höynälä & Mäkelä 2004, 3). B500K-teräksen myötölujuus on 500 MPa ja B700K:n 700 MPa (SFS 1257, SFS 1260). Teräsverkot ovat aina FI-merkittyjä. Merkinnällä kerrotaan teräslaatu, hitsausliitoksen lujuusluokka, tankojen halkaisijat, tankojen jakovälit sekä verkon pituus ja leveys. Esimerkkinä tällaisesta voi olla tyyppimerkintä *B500K/FL30-6/5-100/100-8000/2350*, jota käytetään asiakirjoissa. Teräsverkkojen teräsluokka, yksittäisten terästen paksuudet ja k/k-välit tulee esittää suunnitelma-asiakirjoissa. (InfraRYL 2006, 211.)

Teräsverkot hitsataan vastuspistehitsausmenetelmällä raudoitetehtaassa (SFS 1257). Hitsausliitoksen lujuus on yleensä 30 % (lujuusluokka FL30) pääterästen myötölujuudesta, joskin tie- ja katurakenteisiin asennettavien teräsverkkojen hitsausliitosten lujuusluokka olisi hyvä olla suurempi, esimerkiksi FL40 (Höynälä & Mäkelä 2004, 3).

Teräsverkoilla on hyvä korroosionkestävyys, mikä johtuu terästankojen pyöreästä muodosta. Teräksen korroosio on tutkittujen havaintojen mukaan keskimäärin alle 1 mm 100 vuodessa syöpyvää pintaa kohti luonnontilaisessa, ei aggressiivisessa maaperässä. Korroosion nopeuden on myös havaittu pienenevän ajan kuluessa. (Bengtsson et al. 2002, 8; Törnqvist 2004, 16, 21.) Häiriintymättömään maahan asennetun teräksen (esim. pienpaalut) korroosiona mitoituksessa käytetään arvoa 1,2 mm 100 vuodessa syöpyvää pintaa kohti (SFS-EN 1993-5 2007, 30 - 31; Pienpaalutusohje 2007, 109 - 110). Rakennetuissa maakerroksissa teräksen korroosio on nopeampaa. Vahvisteen pysyvyys maassa tulee vastata suunnitelma-asiakirjoissa määriteltä käyttöikä. Käytettäessä lujitetta routahalkeamien estämiseen, oletetaan korroosiovaraksi 1 mm. Jos teräsverkko on korroosiosuojattava, voidaan se tehdä sinkillä tai polymeeripinnoitteilla. (InfraRYL 2006, 211.)

Raportoituja havaintoja tai tutkimuksia teräsverkkojen korroosiosta tierakenteissa on niukasti. S14- tutkimusohjelman koekohteessa soratien murskekerroksessa olleen teräksen pinnalla oli havaittavissa ruostetta neljän vuoden jälkeen, mutta lankapaksuudet eivät olleet muuttuneet (Saarelainen 2005, 19). Ruotsissa Uumajan lähistöllä toteutetussa koekohteessa teräksen halkaisija oli pienentynyt noin 1 mm kymmenessä vuodessa. Teräsverkot sijaitsivat 200 mm tien pinnasta kantavassa kerroksessa. (Sandberg & Björnfort 2004, 79 - 80.) Teiden suolaamisen vaikutuksista tierakenteisiin asennettujen teräsverkkojen korroosion kehitykseen ei ole tutkimustietoa. Suolausta käytetään liukkauden torjuntaan kuitenkin pääasiassa vain päätieverkolla, ei

seutu- ja yhdysteillä. Päälysteen ollessa ehjä suola ei pääse vaikuttamaan teräsverkkoihin.

Sidotussa kerroksessa olevan teräsverkon korroosiota voidaan ehkäistä liimaamalla teräsverkko bitumiemulsiolla päälysteeseen (Gustafsson et al. 2002, 80). Sitomattomissa kerroksissa teräsverkot voivat olla sinkittyjä, mutta useimmiten on taloudellisempaa kasvattaa teräksen halkaisijaa. Kaiken kaikkiaan teräsverkko kestää tierakenteessa sen suunnitellun käyttöiän ajan, mikä on 20 tai 30 vuotta (Höynälä & Mäkelä 2004, 3; Sandberg & Björnfort 2004, 9 -10, 73, 78 - 80).

### **Teräsverkon toiminta tierakenteessa**

Teräksen käyttö tierakenteissa, kuten muissakin rakenteissa, perustuu teräksen hyvään vetolujuuskestävyyteen ja kykyyn vastustaa rakenteisiin syntyviä pysyviä muodonmuutoksia. Teräsverkon tehtävänä on ottaa vastaan tierakenteeseen kohdistuvien kuormitusten kuten roudan nostovoiman ja liikennekuormien aikaansaamia vetojännityksiä ja siirtää niitä koko tierakenteen alueelle. Teräksen etuna mm. muovipohjaisiin vahvisteisiin verrattuna on se, että teräs ottaa vetoa vastaan jo pienilläkin venymillä. (Mäkelä 1998.) Kun kuormituksista syntyvät vetovoimat ja niistä aiheutuvat jännitykset siirtyvät tierakenteesta teräsverkkoon, muodostuu tierakenteen käyttöikä näin pidemmäksi kuin jos vahvisteita ei tierakenteessa olisi.

Teräsverkko ottaa vetoa vastaan pääasiassa verkon poikkisuuntaisia vetoelementtejä vastaa muodostuvan passiivisen maanpaineen vaikutuksesta. Passiivisen maanpaineen syntyminen ja kitka mahdollistavat teräsverkon ja tierakennusmateriaalien riittävän ankkuroitumisen. Jos teräsverkon ankkuroituminen ei ole riittävä, voi teräsverkko liukua tierakenteen sisällä ja teräsverkko ei tällöin pysty ottamaan kuormia vastaan. (Mäkelä 1998, 45 - 57.) Ankkuroitumisen kannalta maan läpäisyprosenttia 50 vastaavan raekoon  $d_{50}$  tulisi olla  $0,25-0,66 \times$  verkon silmäkoko, jolloin maan ja verkon välinen kitkakulma on lähes maan sisäisen kitkakulman suuruinen. Jos raekoko on tätä suurempi tai pienempi, verkon ja materiaalin välinen leikkausvastus pienenee. Lisäksi riittävä ankkuroituminen on mahdollista silloin, kun kiviaines on tiivistetty verkon päällä ja kivet tunkeutuvat osittain verkon lävitse ja osittain kiilautuvat aukkoihin. Vahvistetun maan tiiviysasteella on keskeinen merkitys maan ja verkon väliseen tartuntaan. Tiiviysaste on riittävä silloin, kun maan tilavuus pyrkii laajenemaan leikkausjännityksen vaikutuksesta. (Aalto et al. 1998, 25-27.)

Teräsverkkojen käytöllä voidaan vähentää tierakenteeseen syntyviä pysyviä muodonmuutoksia. Tällaisia muutoksia ovat muun muassa jo aiemmissa luvuissa esille tulleet sidottujen kerrosten väsymis-, kutistumis- tai routahalkeamat, vanhan päälysteen halkeamien heijastuminen nopeasti päälle tehdyn uuden päälysteen pintaan, rakennekerrosten tai pohjamaan pysyvistä muodonmuutoksista aiheutuvat urat, epätasaisuus ja sivukaltevuuden pienentyminen eli tien latistuminen. Tien latistuminen hidastaa veden johtumista pois tien pinnasta ja heikentää ajomukavuutta ja liikenneturvallisuutta (roiskeet, näkyvyshaitat, vesiliirto tai muu kitkan huonontuminen) sekä nopeuttaa päälysteen kulumista ja rapautumista.

### **3.2 Teräsverkkojen käyttöön liittyvät Tiehallinnon ohjeet ja suositukset**

#### **Tierakenteiden suunnittelu**

Vuonna 2005 voimaan tulleessa Tierakenteen suunnittelu -julkaisussa on ohjeistusta teräsverkkojen käytöstä uuden tierakenteen suunnittelussa. Ohjeen routamitoitusta ja routanousun rajoittamista käsittelevässä osuudessa on taulukoitu suurimmat sallitut laskennalliset routanousut (RNsall) sekä tasalaatuiselle että sekalaatuiselle pohjamaalle (ks. taulukko 10). Taulukossa on ohjearvot tavalliselle ja teräsverkolliselle tierakenteelle. Useimmissa vaatimusluokissa teräsverkolliselle tierakenteelle sallitaan suurempi routanousu, koska ne kokemusten perusteella kestävät sellaisia paremmin kuin verkottomat rakenteet. Tämä voi johtua siitä, että tällöin routanousu on tasaisempaa verkon vastaanottamien jännitysten vuoksi eikä yhtä suuria routanousueroja pääse syntymään kuin verkottomissa rakenteissa. (Tierakenteen suunnittelu 2004, 41.)

Ohjejulkaisun mukaan routasuojaukset kevyen liikenteen väylillä eivät ole taloudellinen ratkaisu verrattuna rakenteen vahvistamiseen teräsverkoilla routanousuja ja routanousueroa vastaan. Noin 0,5 m routasuojausrakenteen materiaalikustannuksilla saadaan asennettua teräsverkko tierakenteeseen vastaavin routanousuin. Teräsverkko ohjeistetaan asentamaan työteknisistä syistä vähintään 150 mm syvyydelle. Ohjeen mukaisesti teräsverkko ei vaikuta kantavuusmitoitukseen. (Tierakenteen suunnittelu 2004, 59.)

#### **Rakenteen parantamisen suunnittelu**

Vuonna 2006 tuli voimaan uudistettu ohje Rakenteen parantamisen suunnittelu. Se on yhdessä Tierakenteen suunnittelu - ohjeen kanssa tärkein Tiehallinnon töissä noudatettava yleinen teräsverkkojen käyttöä koskeva suunnitteluohe.

Rakenteen parantamisen suunnittelu -ohjeessa esitetään taulukon muodossa vaihtoehtoisia parantamismenettelyjä. Jos syynä on rakeisuudeltaan heikko kantava kerros, luiskat ovat liian jyrkät ja reunakantavuus on heikko tai veden pinta on ylhäällä sivuojaissa, on yhtenä parantamismenetelmänä teräs- tai lujiteverkko. Samassa yhteydessä on myös tuotu esille em. menetelmien kohdalla huomioon otettavia tekijöitä. Teräsverkkoja käytetään ensisijaisesti routanousun aiheuttamien pitkien ja leveiden halkeamien korjaamiseen. Teräs- (ja lasikuitu-) verkot hidastavat kuormituksesta johtuvaa urautumista. Vaikutukset ovat suurimmat kapeilla jyrkkäluiskaisilla teillä, joiden rakenne on heikko. Teräsverkoilla korjaamisesta on esitetty myös tarkempi ohjeistus liitteineen. (Rakenteen parantamisen suunnittelu 2005, 46 - 52.)

#### **Muut teräsverkkojen käyttöön liittyvät ohjeet**

Lujitteet ja teräsverkot ovat mukana vuonna 2003 voimaan tulleessa Tien perustamistavan valinta -julkaisussa. Ohjeen mukaan lujitteilla, kuten teräsverkoilla, voidaan parantaa tiepenkereen vakavuutta ja tasoittaa tien poikkisuuntaisia painumia. Teräsverkkojen vaikutus painumiin riippuu kuitenkin selkeästi käyttötavasta. (Tierakenteen perustamistavan valinta 2003, 16.)

Pituussuuntaisten painumien kohdalla tasaavaa vaikutusta ei ole havaittu (ks. luku 2.1).

Lujitteet soveltuvat pohjanvahvistusmenetelmäksi silloin, kun penkereen vakavuus on muuten lähellä riittävää ja painumia voidaan sallia. Riskeiksi mainitaan mm. materiaalin jäykkyys ja pitkäaikaiskestävyys. Lujitteita käytetään harvoin yksinomaisena pohjanvahvistuskeinona. (Tien perustamistavan valinta 2003, 16 -17.)

Päällysteiden suunnittelu -ohjeessa on myös yhtenä vaihtoehtona mainittu vahvisteverkkojen käyttö routanousujen tai -painumien aiheuttamien halkeamien korjauksissa. Teräsverkko ohjeistetaan sijoittamaan ensisijaisesti kantavaan kerrokseen, jolloin se ei aiheuta ongelmia seuraavalla päällystyskerralla. Jos teräsverkko kuitenkin asennetaan sidottuihin kerroksiin, ei se saa olla jyrskintätöiden työstösyvyydellä. (Päällysteiden suunnittelu 1997, 39.)

Suosituksia ja ohjeita on myös monissa muissa Tiehallinnon julkaisuissa kuten esimerkiksi Heikkokuntoisen päällystetyn alemman tieverkon ylläpito -projektin julkaisuissa sekä TPPT- ja S14 -tutkimusohjelmien julkaisuissa.

*Taulukko 8. Tiehallinnon teräsverkkojen käyttöä koskevat ohjejulkaisut.*

Julkaisu	Ohjenumero	Julkaisuvuosi
Rakenteen parantamisen suunnittelu	TIEH 2100035-05	2005
Tierakenteen suunnittelu	TIEH 2100029-04	2004
Tien perustamistavan valinta	TIEH 2100019-03	2002
Päällysteiden suunnittelu	TIEL 2140011	1997

*Taulukko 9. Tiehallinnon julkaisuissa esiintyviä teräsverkkojen suunnittelua ja asentamista koskevia suosituksia.*

Julkaisu	Julkaisuvuosi	Aihealue
Heikkokuntoisen päällystetyn alemman tieverkon ylläpito, loppuraportti	2005	Korjausmenetelmän valinta
Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen	2005	Korjausmenetelmän valinta
Kevytpäällysteisten teiden rakenteen parantaminen	2002	Korjausmenetelmän valinta
Pyöräteiden routavauriotutkimus	2000	Suunnittelun perusteita
Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa; synteesi STEELSYNT	2003	Kokemuksia koerakenteista ja suunnittelusta
Teräsverkkojen asentaminen: käytännön ohjeita	1991	Asennustyö
Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus, suunnittelujärjestelmän kuvaus, TPPT	2002	Suunnitteluohjeita

### 3.3 Kuormituskestävyyssmitoitus

Tiehallinnolle tehtävien tiesuunnitelmien kuormituskestävyyssmitoitus tehdään Tierakenteiden suunnittelu -ohjeen tai Rakenteen parantamisen suunnittelu -ohjeen mukaisesti normaalisti Odemarkin menetelmällä. Tiekohtaisesti Tiehallinto voi määrätä kuormituskestävyyden mitoituksen tehtäväksi monikerroslaskennalla.

Teräsverkko ei muuta rakenteen hetkellistä käyttäytymisvastetta vaan se lisää rakenteiden kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia. Tämän vuoksi raudoitettuja rakenteita ei mitoiteta muuttamalla rakenteiden moduuleita tai väsymisominaisuuksia. (Korkiala-Tanttu et al. 2003, 32-33.) Rakenteen parantamisen yhteydessä voidaan kantavuusmitoituksessa käyttää myös Odemarkin mitoitusta kantavuuslisäykselle tai vaurioitumisnopeuden muutoksiin perustuvaa menetelmää. Menetelmät on esitetty tarkemmin Rakenteen parantamisen suunnittelu -ohjeessa. (Rakenteen parantamisen suunnittelu 2005, 39-41 ja liite 1.)

Koska teräsverkolla lujituksen on todettu tietyissä tapauksissa vähentävän urautumista ja hidastavan vaurioitumista, nykyisissä ohjeissakin esitettyjä mitoitusten menetelmiä voidaan ehkä tulevaisuudessa kehittää vaikutuksen huomioonottaviksi. Odemarkin mitoitusten menetelyssä se voitaisiin tehdä pienentämällä teräsverkollisen rakenteen tavoitekantavuusvaatimusta ja monikerroslaskentamenetelmissä (esim. APAS) suurentamalla sidotun kerroksen alapinnassa sallittuja vetomuodonmuutoksia ja sitomattomien kerrosten tai pohjamaan pinnassa sallittuja puristusmuodonmuutoksia. Rakenteen parantamisen suunnitteluohjeessa esitettyssä vaurioitumisnopeuden muutoksiin perustuvassa menetelmässä teräsverkon vaikutus voitaisiin ottaa huomioon pienentämällä parantamistoimenpiteen jälkeisen vaurioitumisnopeuden (Uusi VSnop) kaavassa olevan vaikutuskertoimen  $k$  arvoa.

#### Vaihtoehtoiset mitoitusten menetelyt

##### *Reflex-tutkimusohjelman ekvivalenttimenetelmän sovellus*

Vaikka teräsverkollisen tierakenteen mitoittaminen kuormituskestävyyden suhteen on osoittautunut ongelmalliseksi, on Reflex-tutkimusohjelman loppu-raportissa esitetty tierakenteen mitoitus ekvivalenttimenetelmän sovellusta käyttäen. Teräsverkon sijainti ei mallissa vaikuta tuloksiin. Tässä menetelmässä teräsverkolliselle kerrokselle muodostetaan oma ekvivalenttikerroksen paksuus ja moduuli. Laskentamenetelmän toimivuus on testattu laboratoriotestein. Kaavassa oleva teräksen pinta-ala saadaan muuttamalla terästangon pinta-ala neliöksi. Ekvivalenttikerroksen moduulin laskemista varten on kehitetty omat kaavat tapauksille, joissa teräsverkko on asennettu sidotuun tai sitomattomaan kerrokseen. Ekvivalenttikerroksen moduuliin vaikuttaa sekä teräksen että käytettävien rakennemateriaalien pinta-alat ja moduulit. Käytännössä on osoittautunut, että sopiva ekvivalenttikerroksen paksuus on noin 25 mm. (Gustafsson 2002, 52-53.) Tierakenteen suunnittelu -ohjeen mukaisesti teräsverkon vaikutusta kantavuuteen ei kuitenkaan oteta huomioon mitoituksessa Tiehallinnon hankkeissa.

### *Lupav2 -projektin mitoitusohjeet*

COST Reipas -projektin Suomen kansallisessa osuudessa ”Tie- ja katurakenteiden elinkaaren pidentäminen lujitteiden avulla” on kuvattu menettely, jonka avulla on myös mahdollista mallintaa lujitettuja rakenteita. Menettelyn pohjana on Reflex -tutkimusohjelman ekvivalenttimalli, jota on laajennettu kattamaan tierakenteessa tapahtuvia muutoksia, mm. yhdysvaltalaisissa mitoitusmenettelyissä huomioon otettava tierakenteen tiivistyminen ja siitä seuraava vaakasuuntaisen jännityksen kasvu. Raportissa on esitetty laskenta jännitystilasta riippuvilla moduuleilla (APAS-ohjelma) ja lineaarielastisilla ohjelmilla (Bisar). Tarkemmat menettelyohjeet löytyvät projektin loppuraportista. (Rathmayer et al. 2006, 147 - 149.)

## **3.4 Routamitoitus**

### **Laskennallinen routanousu**

Tien sallittu laskennallinen routanousu (RN<sub>sall</sub>) riippuu tien luokasta (liikennemäärästä, ajonopeudesta), rakenteen kestävydestä (materiaaleista, vahvistuksista) ja pohjaolosuhteiden tasalaatuisuudesta taulukon 10 mukaisesti. Louhetta, solumuoviroutaeristeitä tai maabetonia sisältävät rakenteet kestävät huonosti routaliikkeitä. Tästä syystä näiden rakenteiden sallittua routanousua on pienennetty. Sekalaatuisissa (epätasalaatuisissa) oloissa routanoususta tulee epätasaista. Lohkareisella paikalla epätasaisuuksista tulee pysyviä. Tästä syystä sekalaatuisella pohjamaalla sallitaan pienempi routanousu kuin tasalaatuisella. Teräsverkolliselle tierakenteelle sallitaan suurempia routanousuja kuin verkottomalle, koska ne kestävät niitä paremmin. (Tierakenteen suunnittelu 2005, 40-42.)

Laskennallinen routanousu määritetään kaavan 1 tai 2 mukaan (Tierakenteen suunnittelu 2005, 40 - 42):

$$RN_{lask} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 - \dots a_n \cdot R_n) \cdot t / 100 \quad (1)$$

tai jos rakenteessa on käytetty lievästi routivia maalajeja niin kaavalla:

$$RN_{lask} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 - a_{rva} \cdot R_{rva} - \dots a_n \cdot R_n) \cdot t / 100 + R_{rva} \cdot t_{rva} / 100 \quad (2)$$

RN <sub>lask</sub> =	laskennallinen routanousu (mm)
S =	mitoitusroutansyvyys (mm), saadaan ohjeen kuvasta
R <sub>i</sub> =	routimattoman kerroksen paksuus (mm), i kerroksen numero
a <sub>i</sub> =	materiaalin vastaavuus eristämisen kannalta, saadaan ohjeen taulukosta
t =	laskennallinen routaturpoama (%), saadaan ohjeen taulukosta
R <sub>rva</sub> =	routivan kerroksen paksuus (mm)
a <sub>rva</sub> =	routivan kerroksen materiaalin vastaavuus eristävyyden kannalta
t <sub>rva</sub> =	routivan kerrosmateriaalin routaturpoama (%), arvo saadaan ohjeen taulukosta

Taulukko 10. Suurimmat sallitut laskennalliset routanousut tierakenteiden eri vaatimusluokissa (Tierakenteen suunnittelu 2005, 41).

Vaatimusluokat V1...K2 ja niitä ku- vaavia tietoja mm. mitoitusnopeus	Suurin sallittu laskennallinen routanousu (RN <sub>sall</sub> )					Siirty- mäki- lan kalte- vuus 1 : k <sup>4)</sup>
	Tasalaatuinen pohjamaa <sup>1)</sup>			Sekalaatuinen pohjamaa <sup>1)</sup>		
	Ei teräsverkkoa		Teräsv- erkko <sup>3)</sup>	Ei teräs- verk- koa	Teräs- verkko <sup>3)</sup>	
	Norm. tapaus	Louhe- rak. ym. <sup>2)</sup>				
V1, Moottoriväylät (Mo, mol)	30	30	30	0	0	1:40
V2, Päätiet (Vt, Kt) 80 - 100 km/h	70	70	100	10	10	1:30
V3, Seudulliset tiet 80...100 km/h ja KVL > 1000 ajon/vrk	100	70	130	10	10	1:20
V4, Seudulliset tiet 60 km/h tai KVL < 1000 ja paikallisväylät KVL > 1000 ajon/vrk	130	70	160	30	100	1:15
V5, Paikallisväylät, KVL 400...1000 ajon/vrk	160	100	ei rajaa	70	130	1:15
R1, Reunatuellinen tai viemäröity, 80 km/h, KVL yli 1000 ajon/vrk	30	30	30	0	0	1:30
R2, Reunatuellinen tai viemäröity, 50...70 km/h, KVL yli 1000 ajon/vrk	70	70	100	0	0	1:30
R3, Reunatuellinen tai viemäröity, alle 50 km/h, KVL alle 1000 ajon/vrk	Paikallisen (kuntakohtaisen) käytännön mukaan					
K1, Kevyenliikenteentie, erillinen, päällystetty	70	70	160	30	130	1:10
K2, Kevyenliikenteentie, korotettu	Kuten ajoradalla					
1) Tasalaatuisuus ja sekalaatuisuus (epätasalaatuisuus) arvioidaan kohdan 3.3 mukaan. 2) Koskee louhetta, solumuovia tai sementtistabilointia (SST) sisältäviä rakenteita. 3) Teräsverkolla tarkoitetaan julkaisun Teiden suunnittelu IV 7 Rakenteen parantaminen (1991) kuvan 72:3 mukaista teräsverkkoa tai pituushalkeamien torjuntaan yhtä tehokkaaksi (pieni venymä) osoitettua verkkoa tai muuta ratkaisua. 4) Hiekkatäyteen siirtymäkiilan pohjan kaltevuus suhteessa tien tasausviivaan. Muista materiaaleista tehtävän kiilan pituus on sama kuin hiekkakiilan pituus, mukaan luettuna lämpöeristeistä tehtävät kiilat.						

Jos routanousun laskemiseen käytetään (Tiehallinnon luvalla) jotakin toista teoriaa tai kaavaa tai toisia parametreja, on sallitun routanousun raja korjattava vastaavasti.



Routanousu on mahdollista laskea muilla laskentamenetelmillä, vain jos se on urakka-asiakirjoissa erikseen sallittu. Laskennassa voidaan tällöin huomioida tarkemmin routanousuun vaikuttavat seikat kuten pohjaveden sijainti (Ehrola 1996, 93 - 94, 105 -111). Lisäksi routanousun laskemista varten on kehitetty erilaisia laskentamalleja ja sovellusohjelmia. Routanousu voidaan laskea Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelmassa kehitetyllä routanousun laskentamallilla (SSR-malli). Laskentamalli perustuu segregaatipotentialiteoriaan. (Saarelainen 2001, 5) kuin myös Temp/w-ohjelma (Kallio 2000, 9-10). CRREL-mallin avulla voidaan arvioida routanousua, sulamispehmenemistä ja roudan syvyyttä tierakenteissa. Malli perustuu lämmön ja massan siirtymisen laskentaan integrointimentelmällä. GEL1d-mallilla puolestaan arvioidaan roudan syvyyttä. Tämä malli perustuu lämmön siirtymiseen ja siinä huomioidaan maanpinnan lämpövirta, maaperän lämpövirta ja veden muuttuminen jääksi. (Ahonen et al. 2001, 11-12.)

### **Rakennevaihtoehtojen taloudellisuustarkastelut**

Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa on taulukoitu vaatimusluokittain suurimmat sallitut laskennalliset routanousut, joita verrataan saatuihin tuloksiin. Lujittamattomille ja teräsverkoilla lujitetuille rakenteille on taulukossa eri arvot (ks. taulukko 10). Tarvittaessa on mitoitettava kumpikin vaihtoehto sille sallitun routanousun perusteella ja verrattava kustannuksia.

### **3.5 Routanousuero ja tierakenteen sivukaltevuuden muutos**

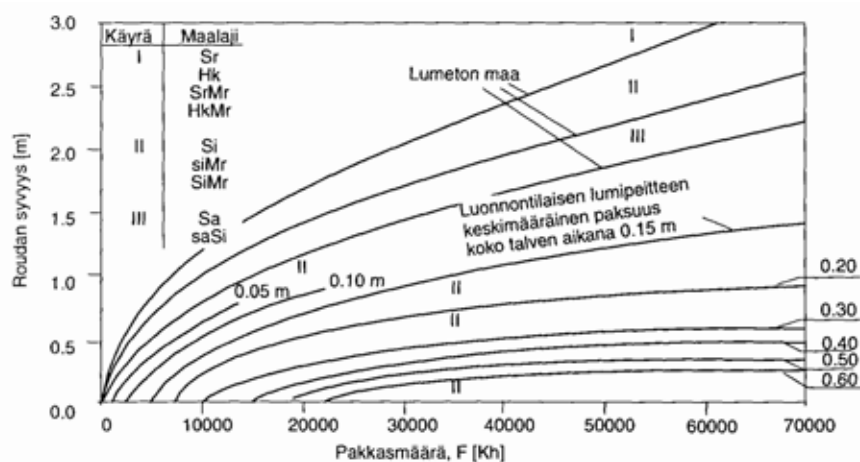
Roudan aiheuttama tien pituushalkeilu johtuu pääosin tien poikkileikkauksen routanousueroista (Tammirinne 2002, 48). Tien keskilinjan ja reunan välinen routanousuero johtuu lumen suojaamien reuna-alueiden pienemmästä routanoususta verrattuna tien keskilinjaan, jossa lunta ei ole tai sitä on hyvin vähän. Routanousuerojen aiheuttamien halkeamien esiintymispaikka on eri levyisillä teillä eri kohdissa poikkileikkausta. Erittäin leveillä teillä (12 -11 m) lumen suojaava vaikutus ulottuu vain tien reunaosille ja tien keskiosan routanousu on melko tasaista. Näin ollen halkeamat esiintyvät tie reunaosilla. Teillä joiden leveys on 6 - 9 m (yleisin leveys Suomen tiestöllä), routahalkeamat esiintyvät tien keskialueilla, koska tierakenne ja tierakenteeseen muodostuva laatta on kapeampi sekä roudan nostovoima on suurin tielinjan keskivaiheilla. (Ehrola 1996, 324.) Kevyen liikenteen väylät ovat niin kapeita (2,5 -3 m), että niiden kohdalla roudan aiheuttamien keskihalkeamien syntymiseen riittää jo pienempi routanousuero (Kallio 2000, 17).

Routanousuero saa aikaan tierakenteen sivukaltevuuden muutoksen. Kun tämä muutos ylittää kriittisen rajan ja päällysteen vetolujuus ylittyy (esimerkiksi 2 MPa, Rathmayer et al. 2006, 92 - 94), syntyy päällysteeseen ja mahdollisesti heti myös muihin rakennekerrokseen halkeama. Tierakenteen halkeaminen taas vaikuttaa tierakenteen vaurioitumisnopeuteen, mm. veden pääsy rakenteeseen helpottuu ja liikennekuormituksesta aiheutuvat vauriot tulevat nopeammin esille. Routamitoitusvaiheessa tuleekin tarkastaa myös tien keskilinjan ja tien reunan välinen laskennallinen routanousuero ja sivukaltevuuden muutos.

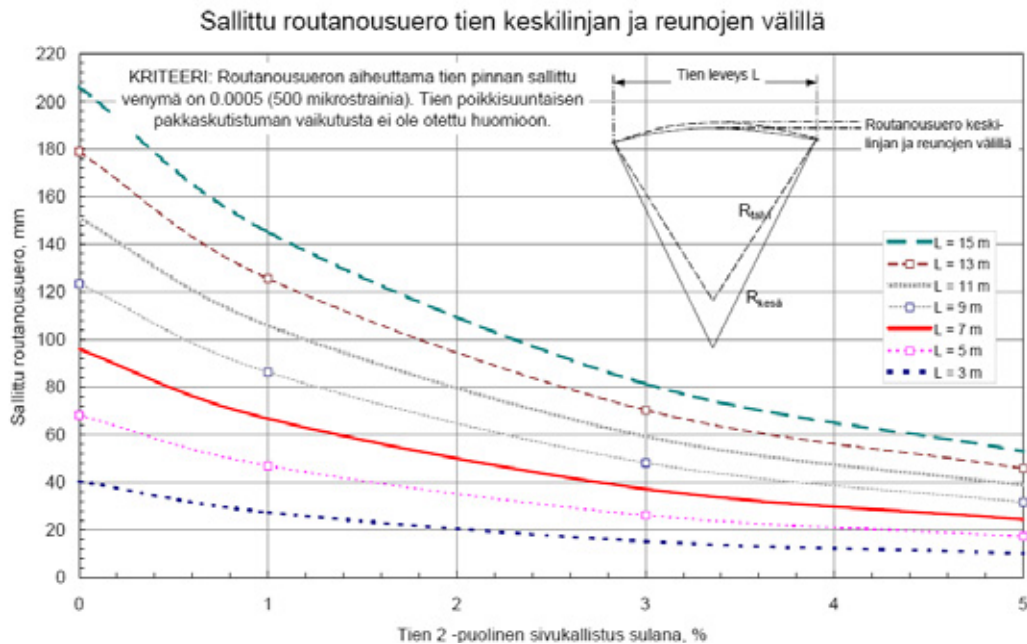
### Routanousuero

Pelkkä routanousu ei kuvaa usein riittävällä tarkkuudella mahdollisten routavaurioiden muodostumisherkkyttä. Tutkimuksissa on havaittu routanousuon ennustavan routavaurioita pelkkää routanousua paremmin. Maanteillä suurempi kuin 25 - 35 mm routanousuero on merkki tulevien routavaurioiden merkittävästi kasvaneesta riskistä. Maanteillä 25 – 35 mm routanousuero mahdollistuu yleensä, kun routanousu on noin 50 – 70 mm. (Ehrola 1996, 324). Tämä raja on paljon alhaisempi kuin tierakenteiden vaatimusluokkien V3, V4, V5 ja K1 kohdalla on laskennallisen routanousun osalta esitetty. Routanousuero tulisi aina tarkastaa.

Routanousuero voidaan laskea esimerkiksi siten, että otetaan huomioon lumen vaikutus routan syvyyteen kuvasta 1 saatavien arvojen mukaisesti ja arvon avulla laskea routanousuero esimerkiksi laskennallisen routanousun kaavalla. Laskennassa voidaan myös olettaa tien reunan routanousun olevan 30 % tien keskilinjän routanoususta tai käyttää mitoitustaulukoita. Sallituille routanousuille ja routanousueroille löytyy myös valmiita arvoja TPPT-projektin Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus –julkaisusta (Tammirinne 2002, 44 – 46).



Kuva 3. Lumen vaikutus routan syvyyteen (Soveri & Varjo 1977,66).



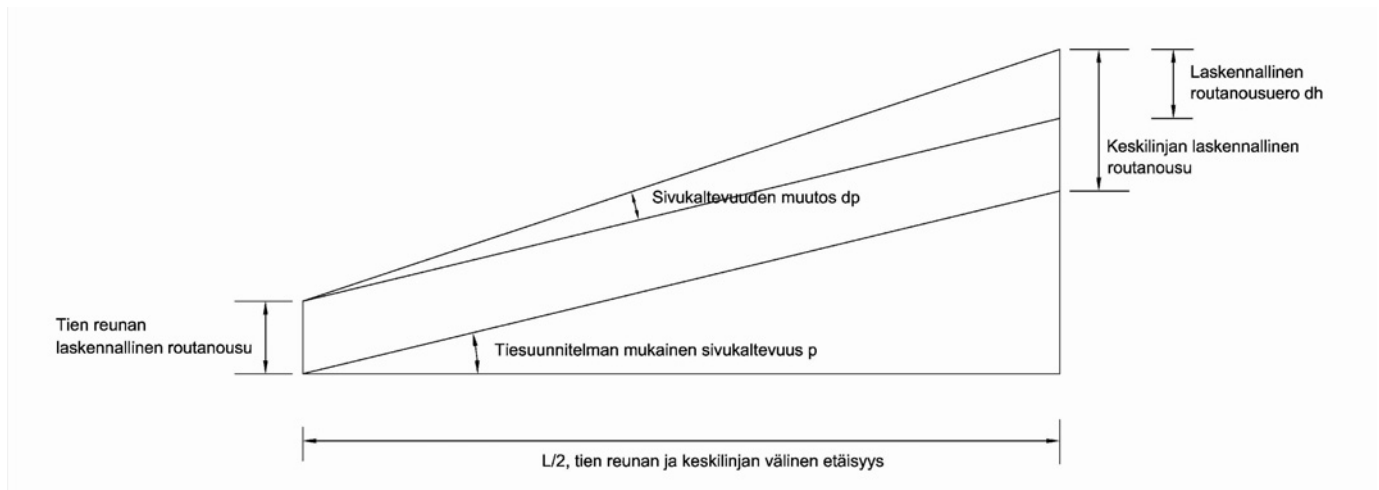
Kuva 4. TPPT-suunnittelujärjestelmän routanousueron mitoitusaulukko (Rathmayer et al. 2006, 45).

### Tierakenteen sivukaltevuuden muutos

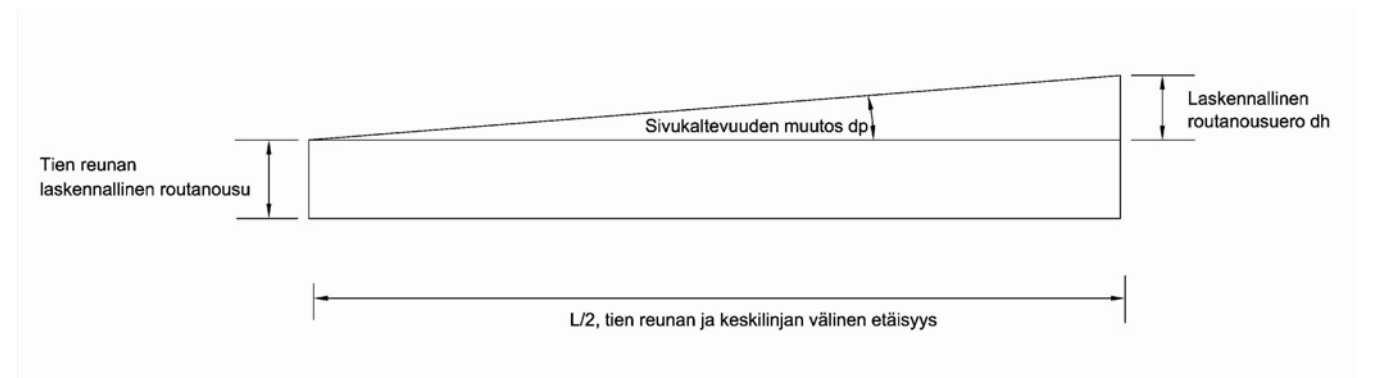
Tierakenteen sivukaltevuuden muutos on seurausta routanousueroista. Kulmamuuutos johtaa päällysteen venymiseen ja edelleen päällysrakenteen halkeamiseen. Kenttätutkimuksissa on havaittu epätasaisen routanousun aikaansaaman kriittisen kulmamutoksen olevan 1,5 - 2,0 %. Maantiellä, jonka leveys on 6 m tämä vastaa edellä esitettyä, noin 25 – 30 mm routanousueroa tien reunan ja keskilinjän välillä (Ehrola 1996, 324). Sivukaltevuuden muutoksille on olemassa suositusarvoja, jotka perustuvat väylän tyyppiin ja/tai leveyteen

Tien sivukaltevuuden muutoksen raja-arvoiksi on esitetty seuraavia lukuja:

- moottoritie 0,5 %
  - valta- ja kantatiet 0,6 %
  - paikallistiet 1,0 – 2,0 %
  - soratiet 1,5 – 2,0 %
  - kevyen liikenteen väylät 0,6 -1,0 %
- (Friberg & Slunga 1989; Saarelainen 2001, 10).



Kuva 5. Kaksipuolisesti kallistetun väylän sivukaltevuuden muutos.



Kuva 6. Yksipuolisesti kallistetun väylän sivukaltevuuden muutos

Sivukaltevuuden muutos kaksipuolisesti sivukallistetuilla maanteilla voidaan laskea kaavalla:

$$\tan \Delta p = [(((L/2) * \tan p) + \Delta h)/(L/2)] - p \quad (3)$$

missä,

$\Delta p$  = sivukaltevuuden muutos

L = tien päällysteen leveys

p = kallistus -%

$\Delta h$  = laskennallinen routanousuero

Mikäli sivukaltevuuden muutoksen raja ylittyy, on teräsverkko tai muu routimista rajoittava rakenneratkaisu tienrakenteen pitkäaikaiskestävyyden kannalta tarpeellinen.

Maanteillä sivukaltevuus voi olla yksipuoleinen. Myös kevyen liikenteen väylillä sivukaltevuus on yksipuoleinen, ellei kyseessä ole hyvin leveä väylä (Kevyen liikenteen suunnittelu 1998, 53). Tällöin kulmamuuotos saadaan kaavalla:

$$\tan \Delta p = (\Delta h / (L/2)) \quad (4)$$

missä,

$\Delta p$  = sivukaltevuuden muutos

L = tien päällysteen leveys

$\Delta h$  = laskennallinen routanousuero

*Tarkastelujärjestys routavaurioiden merkittävyyden kartoittamiseksi mahdollisen teräsverkon käyttötarvetta varten*

- 1) Tierakenteen kuormituskestävyysmitoitus.
- 2) Lasketaan laskennallinen routanousu  $RN_{sall}$ .
- 3) Tarkastetaan sallittujen laskennallisten routanousuarvojen taulukosta, mihin luokkaan saatu tulos sijoittuu.
- 4) Mikäli teräsverkolla voidaan ohentaa mitoitusroutansyvyyden mukaisia rakennekerroksia, lasketaan, kumpi vaihtoehto tulee halvemmaksi investointina.
- 5) Jos teräsverkoton rakenne tulee edullisemmaksi ja saatu routanousun arvo on lähellä maksimia, lasketaan sekä tierakenteen routanousuero että tierakenteen kallistuskulman muutos.
- 6) Jos laskentojen tulokset vaativat routanousueron ja kallistuskulman muutoksen suhteen teräsverkkoa, valitaan teräsverkollinen tierakenne.

### 3.6 Kevyen liikenteen väylien suunnittelun erityispiirteet

Pyöräteiden routavauriotutkimuksessa on todettu roudan aiheuttamien pitiushalkeamien olevan suurin ongelma kevyen liikenteen väylien laatutason kannalta. Pyöräteiden poikkileikkauksen valinnan avulla on mahdollista vaikuttaa routavaurioiden syntyyn. Usein rakennekerrokset ovat kuitenkin niin ohuita, että routavaurioita syntyy poikkileikkausvalinnoista huolimatta routivilla tai erittäin routivilla maapohjilla. Poikkileikkauksen valintaa tärkeämmäksi tekijäksi on havaittu lumen vaikutus ja auraustapa. (Kallio 2000, 12 -19.)

Tulevia routavaurioita ennustaa routanousua paremmin tien reunan ja keskilinjan välinen routanousuero. Kun routanousuero ylittää 10 - 15 mm rajan, kasvaa päällysteen kulmamuuotos niin paljon, että routahalkeamien muodostumisen todennäköisyys kasvaa merkittävästi. Edellä mainitun routanousueron, 10 - 15 mm, edellytykset kasvavat kun kevyen liikenteen väylän routanousu on välillä 30 - 50 mm. (Kallio 2000, 17 - 19.)

Kevyen liikenteen väylien routavaurioita voidaan vähentää routimista rajoittavien tai sietävien rakenteiden avulla. Routimista rajoittavina rakenteina voidaan käyttää mm. maalaatikkoa tai lämpöeristeitä (teolliset eristeet tai uusiomateriaalit kuten masuunihiekka tai rengasrouhe). Routimista sietävä rakenne voidaan toteuttaa erilaisten lujitteiden kuten teräsverkon avulla. (Kallio 2000, 20 - 24.) Rakenteen suunnittelussa tulee kiinnittää huomioita toimenpiteiden kokonaistaloudellisuuteen. Routimista sietävät rakenteet ovat

usein edullisempia kuin routimista rajoittavat rakenteet, mutta asia tulee tarkastella aina tapauskohtaisesti.

Kevyen liikenteen väylät mitoitetaan kantavuuden osalta normaalin mitoitusmenettelyn mukaisesti eikä teräsverkko vaikuta kantavuusmitoitukseen. Teräsverkko asennetaan työteknisistä syistä vähintään 150 mm syvyydelle. (Tierakenteen suunnittelu 2005; Kevyen liikenteen väylien suunnittelu 1998). Laskennallinen routanousu sekä myös routanousuero ja rakenteen sivukaltevuuden muutos tulee laskea.

Routasuojaukset kevyen liikenteen väylillä eivät siis useimmiten ole taloudellinen ratkaisu verrattuna rakenteen vahvistamiseen teräsverkoilla routavaurioita vastaan. Keskimäärin jo 0,5 m routasuojarakenteen materiaalikustannuksilla saadaan asennettua teräsverkko tierakenteeseen vastaavin routanousuin. Tässä kohdin tehtyjen ratkaisujen pitkäaikaisvaikutukset on myös hyvä ottaa huomioon ja tehdä myös vastaavat taloudellisuustarkastelut kuin maanteiden kohdallakin on esitetty. (Tierakenteen suunnittelu 2004, 59.)

### 3.7 Teräsverkon mitoitus

#### Teräsverkkojen sijoittelu tierakenteessa

Teräsverkkojen sijoittaminen tierakenteeseen riippuu osittain käyttötarkoituksesta. Tutkimuksissa ja koekohteissa on todettu työteknisistä syistä teräsverkon optimiasennussyvyyden olevan noin 200 - 300 mm tien pinnasta. (Gustafsson et al. 2002, 40 - 49). Pohjois-Suomessa teräsverkoja ei tule asentaa sidottuihin kerroksiin, koska teräsverkko tulee helposti reunasta esille. Tällöin halkeamat muodostuvat ensin päällysteen reunaan ja sitten ne vähitellen murtavat päällystettä tien keskilinjaa kohti. Ongelmaa voidaan estää taivuttamalla teräsverkon reunat alaspäin. (H. Mäkelä suullinen tiedonanto 11.6.2008.) Teräsverkot tulee asentaa vähintään 100 mm syvyyteen päällysteen pinnasta. Usein asennusvaiheessa verkot tulevat suunniteltua lähemmäs tien pintaa ja saattavat heijastua tien pinnalle. (Gustafsson et al. 2002, 66 -67.)

#### *Routahalkeaminen estäminen*

Routahalkeamien syntyä estettäessä teräsverkko tulee sijoittaa niin lähelle tien pintaa kuin mahdollista, kuitenkin vähintään 100 mm syvyydelle tien pinnasta. Käytännössä teräsverkko on hyvä sijoittaa noin 200 mm syvyydelle tien pinnasta. (Gustafsson et al. 2002, 49.)

#### *Urautuminen*

Jos päällysteen urautuminen johtuu päällystemateriaaleista tai lämpötilasta, teräsverkko on kannattavinta sijoittaa 100 mm syvyydelle tien pinnasta katsottuna. Verkkojen toimimisen kannalta kiinnittyminen sidottuihin kerroksiin on tärkeää ja verkkojen kiinnittymistä voidaan edistää bitumiemulsiolla. Jos päällystekerros on ohut, kohdistuu urautuminen suurelta osin sitomattomiin kerroksiin. Tällöin teräsverkko on kannattavinta sijoittaa noin 200 mm syvyydelle kantavan kerroksen yläpinnasta. (Gustafsson et al. 2002, 40-42.)

### *Heijastushalkeamien estäminen*

Heijastushalkeamista johtuvat vauriot vaikuttavat eniten sidottujen kerrosten vaurioitumiseen, joten teräsverkko tulee sijoittaa mieluiten sidottuihin kerroksiin. (Gustafsson et al. 2002, 47).

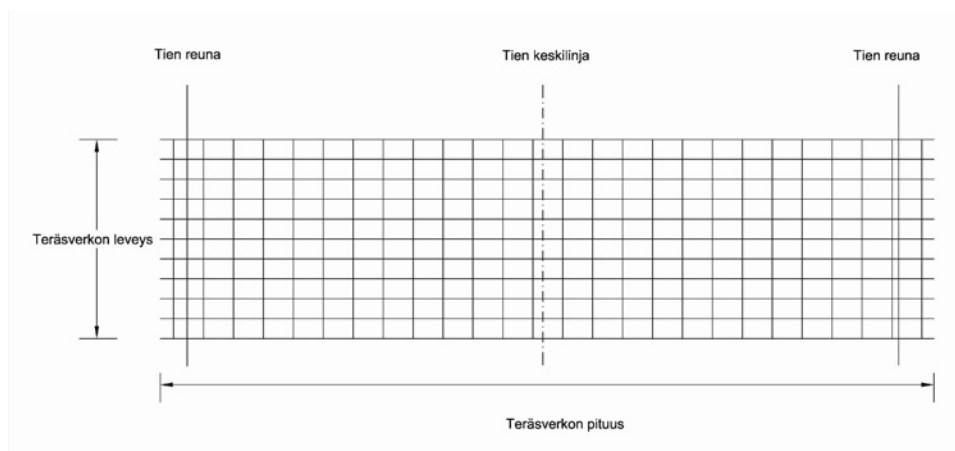
### *Sorateiden parantaminen*

Sorateiden kelirikkovaurioita ja urautumista estettäessä teräsverkko suositellaan sijoitettavaksi 250 – 300 mm syvyydelle. Suunnittelun yhteydessä tulee varmistua siitä, että tierakenteessa ei ole isoja kiviä tai lohkareita, jotka saattaisivat nostaa teräsverkon tien pintaan. Teräsverkkoa ei saa myöskään asentaa vanhaa pohjamaata tai kulutuskerrosta vasten. (Aho et al. 2005, 21 - 22.)

### **Teräsverkon mittojen ja tyyppin valinta**

Kuljetuksellisista syistä teräsverkon leveys (tien pituussuunnassa, ks. kuva 5) ei tulisi olla suurempi kuin 2,5 m. Yleisimmin verkon leveys on 2350 mm. (Höynälä & Mäkelä 2004, 4; Gustafsson et al. 2002, 43). Teräsverkon silmäkoon vaikutuksesta löytyy eriäviä tuloksia. Silmäkoon vaikuttaa myös se, käytetäänkö kaksi- vai kolmilankaverkkoa. Teräsverkon silmäkoko ja tyyppi taas puolestaan vaikuttaa teräsverkon ankkuroitumiseen. (Gustafsson et al. 2002, 40 – 42; Luomala 2005, 12-13.)

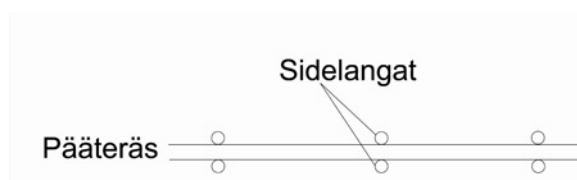
Teräsverkon pituus (tien poikkisuunta) voi vaihdella tien leveyden mukaan, mutta sekä kuljetusten että käsittelyn kannalta 12 m pidempää verkkoa ei suositella käytettävän. Valmistuksellisia esteitä tehdä pidempää verkkoa ei ole. (Gustafsson et al. 2002, 71-73.) Teräsverkon pituuden tulee olla vähintään 0,5 - 1 m suurempi kuin päällysteen leveys, kun teräsverkko asennetaan kantavaan kerrokseen. (Höynälä & Mäkelä 2004, 4; Gustafsson et al. 2002, 43)



Kuva 7. Teräsverkon asettelu tien pituussuuntaa nähden.

Teräsverkkoina voidaan käyttää sekä varastoverkkoja että erikoisverkkoja. Varastoverkkoja on saatavissa raudoitusteräksiä valmistavista tehtaista ja rakennustarvikeliikkeistä, ja ne soveltuvat erityyppisille kevyen liikenteen väylille ja jalkakäytävälle. Varastoverkkojen etuna on nopea saatavuus. (Höynälä & Mäkelä 2004, 3.) Tie-, katu- ja kenttärakenteissa käytettävät teräsverkot ovat yleensä tilauksesta valmistettavia erikoisverkkoja. Tilauksesta tierakenteiden erikoisverkkoja valmistavia yrityksiä Suomessa on neljä. Raudoiteverkkojen valmistajia ovat mm. Pintos Oy ja Tammet Oy. Erikoisverkkojen toimitusaika on yleensä noin 2 - 3 viikkoa (Höynälä & Mäkelä 2004, 3).

Tierakenteiden erikoisverkkoja on saavana sekä kaksi- että kolmilankaisina. Kolmilankaverkon etuna on teräsverkon toiminnan kannalta parempi ankkuroituvuus. Se johtuu kolmilankaverkon suuremmasta passiivipainetta vastaanottavasta pinta-alasta. Kolmilankaverkkoja käytettäessä voidaan myös poikittaisten lankojen väliä kasvattamalla saada aikaan materiaalisäästöjä, maksimissaan 20 % (Lainapelto et al. 2007, 6.)



Kuva 8. Kolmilankaverkon poikkileikkauskuva.

### Mitoitusmenettelyt

Teräsverkon mitoittaminen eri käyttötapauksissa (urautuminen, routavauriot, tien leventäminen), vaatii erilaisia mitoitusmenetelmiä. Koska Suomessa teräsverkkoja on käytetty enimmäkseen routavaurioiden korjaamiseen ja estämiseen, on tässä työssä keskitytty teräsverkkojen mitoituksen osalta teräsverkkojen käyttöön routavaurioiden estämiseksi.

Teräsverkon koon mitoitukselle ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä laskentamallia ja valintaa on pääosin ohjeistettu vuosien mittaan kertyneiden maastohavaintojen perustella (Heikkinen 1991, 10,12; Höynälä & Mäkelä 1999; Korkiala-Tanttu et al. 2003, 32; Sandberg & Björnfot 2004, 11,78). Vuodesta 1999 lähtien on myös ollut käytössä Innogeo Oy:n laatima ohje, jossa on eri tiettyypeille ja -luokille määritelty suositellut käyttökoot. Suositukset ovat perustuneet käytännön kokemuksiin. (Höynälä & Mäkelä 1999, 5-6.) Samoin on toimittu Ruotsissa. Suosituksissa on huomioitu myös se onko teräsverkko asennettu sidottuihin ja sitomattomiin kerrokseen (Sandberg & Björnfot 2004). Reflex-tutkimusohjelman loppuraporteissa on myös annettu käyttökokemuksiin perustuvat suositukset. (Gustafsson et al. 2002, 40 - 49, 55 - 56). Tiehallinnon Rakenteen parantamisen suunnittelu -ohjeessa suositeltu teräslaatu on B500K/F ja verkon lankojen koko ja välit vaihtelevat niin, että leveillä  $\geq 10$  m teillä käytetään tyyppiä 8/6-150/200, kapeammilla teillä tyyppiä 7/5-150/200 ja kevyen liikenteen väylillä tyyppiä 6/5-100/150 (Rakenteen parantamisen suunnittelu 2005, 51-52).



*Lupav2 -projektin teräsverkon mitoitusmenettely routavaurioiden estämiseksi*

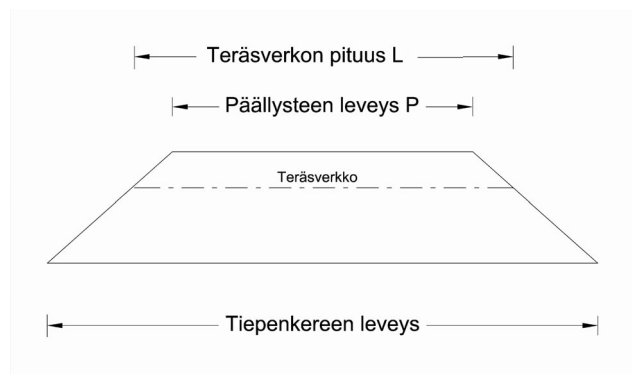
Lupav2 -projektin loppuraportissa esitetty teräsverkkojen mitoitusmenettely perustuu sekä asfaltin että teräsverkon vetolujuuteen. Asfaltin oletettu vetolujuus on 2 MPa ja teräksen myötölujuus 500 MPa. Varsinaiset teräsverkkojen mitoituslaskennat on suoritettu saumattomien betonilaattojen raudoituksen määrittämistä käyttäen. Loppuraportissa on esitetty vaadittavat tangon halkaisijat eri asfaltin paksuuksille ja verkon jakoväleille. (Rathmayer et al. 2006, 92-94.) Mitoitusmenettelyn avulla saatuihin terästen tankopaksuuksiin vaikuttaa keskeisesti asfalttiberonikerroksen paksuus. Laskentojen avulla saatujen tulosten mukaiset terästen tankopaksuudet ovat selvästi suurempia kuin mitä esimerkiksi Innogeo Oy:n laatimassa käytännön havaintoihin perustuvissa suosituksissa on esitetty.

## 4 UUSI TERÄSVERKON MITOITUSMENETTELY ROUTAVAUROIDEN ESTÄMISEKSI

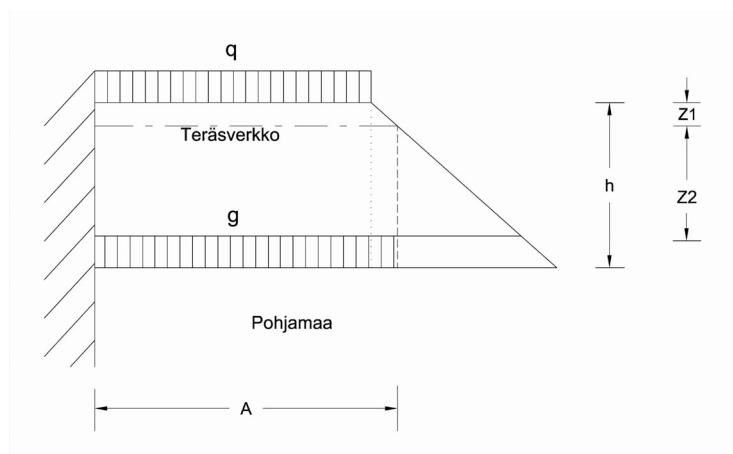
### 4.1 Laskelmien perusteena oleva malli

Tässä työssä esitettävissä mitoituslaskelmissa käytetään pelkistettyä rakennemallia, jossa tiepenger tulkitaan ulokepalkiksi, jolla on jatkuva kuorma. Kuormitusvaihtoehdoiksi on valittu 1) tierakenteen oma paino sekä 2) tierakenteen oman painon ja liikennekuorman summa. Kuormitusvaihtoehdoissa kohdassa a) tierakenteen oma paino muodostuu tien varsinaisista rakennekerroksista ja vaihtoehdossa b) rakennekerroksista ja mitoitusroudansyvyyden mukaisesta pohjamaan osuudesta. Mitoitusroudansyvyys on huomioitu kokonaan, koska se edustaa maksimaaliseksi katsottavaa rakenteen omaa painoa. Liikennekuorma on myös huomioitu laskelmissa kokonaan.

Laskelmissa on tierakenteen oman painon osalta tien leveydessä huomioitu koko teräsverkollisen rakenteen pituus. Päällysteen yli menevältä osalta ei ole tehty luiskakaltevuuden mukaista vähennystä, koska sen vaikutus tässä laskettuun omaan painoon on vähäinen. Lisäksi laskennan yksinkertaistamiseksi on liikennekuormalla käytetty samaa ulokepalkin pituutta kuin tierakenteella.



Kuva 9. Tiepenkereen mittasuhteet.



Kuva 10. Mitoituslaskelmien malli ja merkinnät.

Merkintöjen selitykset:

$L$  = teräsverkon pituus (tien leveyssuunta)

$q$  = Liikennekuorma

$g$  = Tierakenteen oma paino

$h$  = Tierakenteen korkeus

$z_1$  = Teräsverkon asennussyvyys päällysteen pinnalta laskettuna

$z_2$  = Rakenteen sisäinen momenttivarsi

$A$  = Ulokepalkin pituus laskentamallissa (=  $L/2$ )

## 4.2 Teräsverkon mitoituksen laskennan lähtötiedot

### *Kuormituskestävyysmitoituksen lähtötiedot*

Tien päällysrakenne mitoitetaan ottaen huomioon sekä kuormituskestävyys että sallitut routanousut. Mitoituksen tuloksena saatu päällysrakenteen paksuus ja liikennekuorma määrittävät teräsverkolle tulevan kuormituksen ja edelleen sen mitoituksen.

Tien kuormituskestävyysmitoitusta varten tarvitaan alkutiedoiksi tien liikennemäärän mukainen kuormitusluokka, tavoitekantavuudet päällysteen ja kantavan kerroksen päältä sekä tien vaatimusluokka (esimerkiksi V4). Lisäksi, jos tierakenteen oma paino lasketaan mitoitusroutansyvyyden perusteella, tarvitaan myös tieto alueen mitoitusroutansyvyydestä.

### *Tierakenteen tiedot ja kuormituskestävyysmitoitus*

Jos kyseessä on parannettava tieosuus (esimerkiksi kevyt rakenteen parantaminen lisäämällä kantavaan kerrokseen mursketta), tulee olemassa olevat tien rakennekerrokset kartoittaa. Näiden tietojen avulla tierakenne mitoitetaan kuormituskestävyysmitoituksen lähtötietojen vaatimuksia vastaaviksi ja tien vaatimusluokan suurimman sallitun laskennallisen routanousun mukaiseksi.

Uuden tierakenteen kyseessä ollessa kuormituskestävyysmitoitus tehdään lähtötietojen perusteella tien vaatimusluokan suurimman sallitun laskennallisen routanousun mukaiseksi.

### *Tierakenteen oman painon laskenta*

1a) Kuormituskestävyysmitoituksen mukaisten rakennekerrosten oman painon laskenta, tai

1b) Tierakenteen parantamisen kyseessä ollessa oman painon laskenta vanhojen rakennekerrosten mukaan ja osaksi uudelleen mitoitettujen, esimerkiksi kantavan kerroksen ja päällysteen perusteella.

2) Päällystämättömän teräsverkollisen osuuden osalta ei oteta huomioon päällysteen omaa painoa.

3) Tarvittaessa huomioidaan edellä esitetyt mallin reunaehtojen mukaiset seikat.

4) Lopuksi lasketaan tierakenteen oma paino, jossa päällystetty ja päällystämättömän osuus suhteutetaan niiden pituuksien osuuksien mukaisesti (ks. liite 2).

Jos tierakenteen oma paino lasketaan mitoitusroutansyvyyden perusteella, otetaan laskennassa huomioon tien rakennekerrosten yli menevä osa routaantuvaa pohjamaata mitoitusroutansyvyyteen asti.

Liikennekuormina kevyen liikenteen väylillä on käytetty kuormaa  $5 \text{ kN/m}^2$ , vähäliikenteisillä teillä kuormaa  $15 \text{ kN/m}^2$  ja pääteillä on ollut kuormana  $20 \text{ kN/m}^2$  (Siltojen kuormat 1999, 17). Teiden pohjarakenteiden suunnitteluohjeessa puolestaan käytetään tasaisen pintakuorman arvona 1,5 m korkeilla penkereillä arvoa  $10 \text{ kN/m}^2$  (Teiden pohjarakenteiden suunnittelun perusteet 2001, 39-40).

### 4.3 Esimerkki: Kuormitustapaus 1a, poikkileikkaus IIN-7/6

Teräsmäärän laskennassa on sovellettu teräsbetonisen palkin laskentaperiaatteita. Aluksi lasketaan jatkuvalla kuormalla kuormitetun ulokepalkin maksimimomentti.

Laskennoissa teräksen myötölujuutena on käytetty arvoa  $500 \text{ N/mm}^2$

Koska tehollisen puristuspinnan suhteellisen korkeuden laskennassa tarvittavien lähtötietojen saatavuus on heikko, saadaan sisäisen momenttivarren pituus kertomalla rakenteen korkeuden ja teräsverkon asennussyvyyden erotus suhdeluvulla 0,8.

Ulokepalkin maksimimomentti lasketaan kaavalla:

$$M_{\max} = -(g+q) \cdot A^2 / 2 \quad (5)$$

Ulokkeen pituuden valintaa varten on tehty taulukko, josta saadaan kunkin normaalipoikkileikkauksen ulokkeen pituus  $A$  (ks. taulukko 11). Taulukon arvoissa on huomioitu routahalkeamien muodostumistapa eri levyisillä tierakenteilla (ks. luku 3.5). Kapeammilla poikkileikkauksilla ulokepalkki on puolet rakenteen leveydestä. Kaikkein leveimmillä poikkileikkauksilla tien keskiosan rakenne nousee yhtenäisenä laattana ja routavauriot keskittyvät rakenteiden reunamille päin, joka tässä on otaksuttu olevan noin 1/4 poikkileikkauksen leveydestä.

Taulukko 11. Laskennoissa käytettävät ulokepalkin pituudet.

Teräsverkon pituus L, mm	2500	3000	3500	4500	4750	6000
Ulokepalkin pituus A, mm	1250	1500	1750	2000	2100	2200

Teräsverkon pituus L, mm	6500	7500	8500	11000	11500	13500
Ulokepalkki, mm	2300	2400	2500	2700	2800	3000

Liitteen 3 esimerkkinä olevasta laskentataulukosta normaalipoikkileikkauksen 7/6 ulokepalkin pituus A on taulukon 11 mukaan 2400 mm, ja kuormana vaihtoehdon 1a mukaan tien rakennekerrokset, 18,29 kN/m<sup>2</sup>. Näin ollen maksimimomentiksi saadaan:

$$M_{\max} = -18,29 \text{ N/m} \cdot (2,4 \text{ m})^2 / 2 = 52,67 \text{ kNm}$$

Metrin matkalle tarvittava teräsmäärä saadaan jakamalla maksimimomentti sisäisen momenttivarren ja myötölujuuden tulolla.

$$A_s = M_{\max} / z_2 \cdot f_{\text{myötö}} \quad (6)$$

Samassa liitteen 3 esimerkkilaskentataulukossa kaavan mukaan metrille tarvittavaksi teräsmääräksi saadaan:

$$A_s = 52675200 \text{ Nmm} / (480 \text{ mm} \cdot 500 \text{ N/mm}^2) = 220 \text{ mm}^2$$

Muut poikkileikkauksen kuormitusvaihtoehdot lasketaan samalla tavalla edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Kun kaikki kuormitusvaihtoehdot on laskettu, tarkastetaan tarvittava teräsmäärä. Innogeo Oy:n suosituksen mukainen pääterästen pinta-ala metrin matkalla on 256 mm<sup>2</sup> ja teräksen halkaisija 7 mm sekä jakoväli 150 mm. Saatujen tulosten perusteella todetaan että, suositusten mukainen teräsmäärä on riittävä lukuun ottamatta kuormitusvaihtoehdon 2a tulosta, jossa on mukana liikennekuorma kokonaisuudessaan. Tässä kohtaa on kuitenkin myös muistettava, että mitoituslaskelmissa ei ole huomioitu teräksen korroosiota (ks. luku 3.1).

#### *Muut esimerkkilaskelmat*

Mallilla on tehty esimerkkilaskelmat kolmelta eri mitoitusroutansyvyyden mukaiselta alueelta; Lounais-Suomi (1,5 m), Keski-Suomi (1,7 m) ja Pohjois-Pohjanmaa (2,0 m). Esimerkkilaskelmissa on otettu lähtökohdaksi tierakenteelle tehtävä kevyt rakenteen parantaminen asentamalla murskelisäys kantavaan kerrokseen. Pohjamaaksi on oletettu tasalaatuinen ja kuiva silttimoreeni, jonka kantavuus on 20 MPa. Tässä tapauksessa pohjamaan kelpoisuusluokka on U1, alusrakenneluokka tH ja routaturpoama 12 %.

Laskennoissa kantavuusmitoituksen lähtötiedot on valittu tierakenteen vaatimusluokkien ja normaalipoikkileikkauksen perusteella. Vanhojen rakennekerrosten paksuudet on valittu pääosin tierakenteen mitoitusperiaatteiden mukaisesti ja rakennekerrosten yhteispaksuus on kantavuusmitoituksen vaatimuksia hieman suurempi. Uusi rakennepaksuus on muodostettu suurimman sallitun routanousun perusteella ja teräsverkkojen asennussyvyys riippuu mitoituksen vaatimasta kantavan kerroksen murskelisäyksestä ja uuden päällysteen paksuudesta. Laskelmissa ei ole huomioitu korroosiota.

Taulukoissa 12-17 ovat tehtyjen laskelmien tulokset. Saatuja tuloksia on verrattu Innogeo Oy:n ohjesuosituksiin. Tässä luvussa esitetyn esimerkkilaskelman Excel-laskentapohja on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 12. Teräsmäärä metrille maanteillä Pohjois-Pohjanmaalla alueella, jossa mitoitusroutan syvyys on 2000 mm.

Tiepoikkileikkaus	IVN-4	IIIN-5,5	IIIN-6	IIIN-7	IIN-7/6	IIN-8/7	IN-10/7	IN-10,5/7,5	IN-12,5/7
Kuormitustapaus 1a	133 mm <sup>2</sup>	175 mm <sup>2</sup>	220 mm <sup>2</sup>	187 mm <sup>2</sup>	220 mm <sup>2</sup>	213 mm <sup>2</sup>	240 mm <sup>2</sup>	258 mm <sup>2</sup>	297 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 1b	118 mm <sup>2</sup>	147 mm <sup>2</sup>	180 mm <sup>2</sup>	170 mm <sup>2</sup>	180 mm <sup>2</sup>	190 mm <sup>2</sup>	223 mm <sup>2</sup>	240 mm <sup>2</sup>	276 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 2a	249 mm <sup>2</sup>	326 mm <sup>2</sup>	400 mm <sup>2</sup>	327 mm <sup>2</sup>	400 mm <sup>2</sup>	366 mm <sup>2</sup>	422 mm <sup>2</sup>	454 mm <sup>2</sup>	522 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 2b	160 mm <sup>2</sup>	199 mm <sup>2</sup>	243 mm <sup>2</sup>	230 mm <sup>2</sup>	243 mm <sup>2</sup>	257 mm <sup>2</sup>	329 mm <sup>2</sup>	353 mm <sup>2</sup>	406 mm <sup>2</sup>
Inngeo Oy:n ohje	188 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>	256 mm <sup>2</sup>	256 mm <sup>2</sup>	385 mm <sup>2</sup>	335 mm <sup>2</sup>	335 mm <sup>2</sup>	502 mm <sup>2</sup>

Taulukko 13. Teräsmäärä metrille kevyen liikenteen väylillä Pohjois-Pohjanmaalla alueella, jossa mitoitusroutan syvyys on 2000 mm.

Tiepoikkileikkaus	N-2jk	N-2pp	N-yhd.2jk+pp	N-2jk+2pp
Kuormitustapaus 1a	49 mm <sup>2</sup>	71 mm <sup>2</sup>	96 mm <sup>2</sup>	139 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 1b	45 mm <sup>2</sup>	65 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	127 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 2a	64 mm <sup>2</sup>	92 mm <sup>2</sup>	126 mm <sup>2</sup>	181 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 2b	50 mm <sup>2</sup>	72 mm <sup>2</sup>	99 mm <sup>2</sup>	142 mm <sup>2</sup>
Inngeo Oy:n ohje	188 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>

Taulukko 14. Teräsmäärä metrille maanteillä Keski-Suomessa alueella, jossa mitoitusroutan syvyys on 1700 mm.

Tiepoikkileikkaus	IVN-4	IIIN-5,5	IIIN-6	IIIN-7	IIN-7/6	IIN-8/7	IN-10/7	IN-10,5/7,5	IN-12,5/7
Kuormitustapaus 1a	133 mm <sup>2</sup>	175 mm <sup>2</sup>	203 mm <sup>2</sup>	187 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	203 mm <sup>2</sup>	254 mm <sup>2</sup>	273 mm <sup>2</sup>	315 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 1b	120 mm <sup>2</sup>	150 mm <sup>2</sup>	178 mm <sup>2</sup>	173 mm <sup>2</sup>	172 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	230 mm <sup>2</sup>	248 mm <sup>2</sup>	285 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 2a	249 mm <sup>2</sup>	326 mm <sup>2</sup>	369 mm <sup>2</sup>	329 mm <sup>2</sup>	342 mm <sup>2</sup>	406 mm <sup>2</sup>	482 mm <sup>2</sup>	518 mm <sup>2</sup>	596 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 2b	170 mm <sup>2</sup>	213 mm <sup>2</sup>	251 mm <sup>2</sup>	244 mm <sup>2</sup>	243 mm <sup>2</sup>	291 mm <sup>2</sup>	358 mm <sup>2</sup>	385 mm <sup>2</sup>	442 mm <sup>2</sup>
Inngeo Oy:n ohje	188 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>	256 mm <sup>2</sup>	256 mm <sup>2</sup>	385 mm <sup>2</sup>	335 mm <sup>2</sup>	335 mm <sup>2</sup>	502 mm <sup>2</sup>

Taulukko 15. Teräsmäärä metrille maanteillä Keski-Suomessa alueella, jossa mitoitusroutan syvyys on 1700 mm.

Tiepoikkileikkaus	N-2jk	N-2pp	N-yhd.2jk+pp	N-2jk+2pp
Kuormitustapaus 1a	50 mm <sup>2</sup>	79 mm <sup>2</sup>	108 mm <sup>2</sup>	157 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 1b	45 mm <sup>2</sup>	66 mm <sup>2</sup>	90 mm <sup>2</sup>	130 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 2a	72 mm <sup>2</sup>	115 mm <sup>2</sup>	156 mm <sup>2</sup>	225 mm <sup>2</sup>
Kuormitustapaus 2b	51 mm <sup>2</sup>	75 mm <sup>2</sup>	103 mm <sup>2</sup>	148 mm <sup>2</sup>
Inngeo Oy:n ohje	188 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>

*Taulukko 16. Teräsmäärä metrille maanteillä Lounais-Suomessa alueella, jossa mitoitusroutan syvyys on 2000 mm.*

Tiepoikkileikkaus	IVN-4	IIIN-5,5	IIIN-6	IIIN-7	IIN-7/6	IIN-8/7	IN-10/7	IN-10,5/7,5	IN-12,5/7
<b>Kuormitustapaus 1a</b>	133 mm <sup>2</sup>	175 mm <sup>2</sup>	187 mm <sup>2</sup>	187 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	203 mm <sup>2</sup>	254 mm <sup>2</sup>	273 mm <sup>2</sup>	315 mm <sup>2</sup>
<b>Kuormitustapaus 1b</b>	122 mm <sup>2</sup>	153 mm <sup>2</sup>	167 mm <sup>2</sup>	175 mm <sup>2</sup>	172 mm <sup>2</sup>	190 mm <sup>2</sup>	235 mm <sup>2</sup>	253 mm <sup>2</sup>	291 mm <sup>2</sup>
<b>Kuormitustapaus 2a</b>	249 mm <sup>2</sup>	326 mm <sup>2</sup>	339 mm <sup>2</sup>	329 mm <sup>2</sup>	342 mm <sup>2</sup>	406 mm <sup>2</sup>	482 mm <sup>2</sup>	518 mm <sup>2</sup>	596 mm <sup>2</sup>
<b>Kuormitustapaus 2b</b>	179 mm <sup>2</sup>	225 mm <sup>2</sup>	245 mm <sup>2</sup>	258 mm <sup>2</sup>	243 mm <sup>2</sup>	310 mm <sup>2</sup>	384 mm <sup>2</sup>	413 mm <sup>2</sup>	474 mm <sup>2</sup>
<b>Inngeo Oy:n ohje</b>	188 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>	256 mm <sup>2</sup>	256 mm <sup>2</sup>	385 mm <sup>2</sup>	335 mm <sup>2</sup>	335 mm <sup>2</sup>	502 mm <sup>2</sup>

*Taulukko 17. Teräsmäärä metrille kevyen liikenteen väylillä Lounais-Suomessa alueella, jossa mitoitusroutan syvyys on 2000 mm.*

Tiepoikkileikkaus	N-2jk	N-2pp	N-yhd.2jk+pp	N-2jk+2pp
<b>Kuormitustapaus 1a</b>	50 mm <sup>2</sup>	79 mm <sup>2</sup>	108 mm <sup>2</sup>	157 mm <sup>2</sup>
<b>Kuormitustapaus 1b</b>	45 mm <sup>2</sup>	67 mm <sup>2</sup>	91 mm <sup>2</sup>	132 mm <sup>2</sup>
<b>Kuormitustapaus 2a</b>	72 mm <sup>2</sup>	115 mm <sup>2</sup>	156 mm <sup>2</sup>	225 mm <sup>2</sup>
<b>Kuormitustapaus 2b</b>	52 mm <sup>2</sup>	77 mm <sup>2</sup>	105 mm <sup>2</sup>	152 mm <sup>2</sup>
<b>Inngeo Oy:n ohje</b>	188 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>

## 4.4 Laskelmien perusteella tehdyt havainnot

### Maantiet

Mitoituslaskelmilla saadut tulokset tarvittavien teräsmäärien suhteen vaihtelevat kuormitustapauksittain. Kuormitustapauksissa 1a ja 1b, joissa kuormituksena on tierakenteen oma paino, tarvittavat teräsmäärät ovat selvästi pienempiä kuin kuormitustapauksissa 2a ja 2b. Kuormitustapauksessa 2 on tierakenteen oman painon lisäksi laskettu mukaan liikennekuorma, joka ylempiluokkaisilla teillä on samaa luokkaa kuin tierakenteen oma paino. Tästä johtuen erot saaduissa tuloksissa ovat selkeät (ks. taulukot 12-17).

Kuormitustapauksissa b, joissa tierakenteen oma paino muodostuu tien rakennekerroksista ja mitoitusroutansyvyyden mukaisesta pohjamaan osuudesta, on tarvittava teräsmäärä pienempi kuin jos omaan painoon lasketaan pelkät rakennekerrokset. Tämä on loogista, koska tierakenteen oma paino ja sisäinen momenttivarsi ovat suuremmat. Lisäksi leveämpien normaalipoikkileikkausten kohdalla ero tarvittavan teräsmäärän suhteen on selkeästi suurempi kuin kapeammilla normaalipoikkileikkauksilla. Mitoitusroutansyvyyden osalta routanousuun vaikuttava tilanne riippuu siitä, kuinka kauan maa on jäässä mitoitusroutansyvyyteen asti. Koska laskelmissa koko mitoitusroutansyvyyttä käyttämällä saadaan pienempiä teräsmääriä kuin pelkällä rakennepaksuudella, saattaa mitoitus olla alimitoitettu.

Kuormitustapausten 2b mukaisten laskentojen tulokset ovat pääosin yhteneväisemmät Innogeo Oy:n ohjeessa esitettyjen suositusten kanssa, samoin kuin laskelmissa, joissa tierakenteen kuorma koostuu vain rakennekerroksista (ks. taulukot 12, 13 ja 14). Kuitenkin, kun otetaan huomioon sekä liikennekuorman että mitoitusroutansyvyyyden vaikutukset laskelmiin, oikea tulos on ehkä jotakin näiden väliltä. Kun myös muistetaan, että laskelmissa ei ole otettu huomioon korroosion vaikutusta, ja InfraRYL:issä vaatimuksena oli 1 mm korroosiovara tien mitoitusaikana, vastaavat hieman korkeammat teräsmäärät ovat mitoituksen suhteen varmalla puolella.

Teräsverkon routamitoitusta tehtäessä on hyvä muistaa myös roudan sulamisen aiheuttama pohjamaan ja etenkin sorateillä myös tierakenteen kantavuuden heikkeneminen. Tässä työssä on ollut teräsverkkojen mitoituksen osalta pääpaino kuitenkin tierakenteiden routavaurioiden muodostumisen estämisessä, joten kuormituskestävyysmitoitusta ei tässä käsitellä tarkemmin. Tosin pituushalkeamia voi syntyä myös silloin, kun tie esimerkiksi roudan sulaessa painuu keskilinjalta enemmän kuin reunoilta.

### Kevyen liikenteen väylät

Kevyen liikenteen väylien laskentojen osalta voidaan todeta, että Innogeo Oy:n suosituksia vähäisempi teräsmäärä riittäisi. Teräsverkkoja, joiden tankojen halkaisija on alle 5 mm, ei kuitenkaan käytetä, koska ohuempien verkkojen käsittely on hankalaa. Lisäksi ohuemat teräsverkot vaurioituvat helpommin kuljetuksen, nostojen ja asennuksen aikana. (Harri Mäkelä & Jussi Syrjynen, suullinen tiedonanto 28.8.2008).

Innogeo Oy:n ohjesuosituksessa on esitetty poikkileikkauksille N-2jk, N-2pp ja N-yhd. 2jk+p käytettäväksi teräsverkkoa, jossa lankapaksuudet ovat 6/5 mm ja verkon silmäkoko 150/200 mm. Lankapaksuus 5/5 mm ja silmäkoko 150/200 mm on kuitenkin kolmessa kapeammassa poikkileikkauksessa riittävä. Myös kevyen liikenteen väylien leveimmän normaalipoikkileikkauksen N-2jk + 2pp kohdalla ohjesuosituksen antamaa teräsmäärää voisi vähentää siten että lankakoko on 5/5 mm ja verkon silmäkoko 100/200 mm.

*Taulukko 18. Mitoituslaskentojen perusteella kevyen liikenteen väylien normaalipoikkileikkauksille riittävät teräsmäärät metrille.*

Tiepoikkileikkaus	N-2jk	N-2pp	N-yhd.2jk+pp	N-2jk+2pp
Laskentojen perusteella riittävä teräsmäärä metrille	131 mm <sup>2</sup>	131 mm <sup>2</sup>	131 mm <sup>2</sup>	196 mm <sup>2</sup>
Laskentojen mukaan tarvittava teräsverkon koko	5/5-150/200	5/5-150/200	5/5-150/200	5/5-100/200
Innogeo Oy:n ohjesuosituksen mukainen teräsmäärä metrille	188 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	188 mm <sup>2</sup>	283 mm <sup>2</sup>
Ohjesuosituksen mukainen teräsverkon koko	6/5-150/200	6/5-150/200	6/5-150/150	6/5-100/150



## 5 ELINKAARIKUSTANNUSTEN HALLINTA

### 5.1 Kuntotietorekisteri

Tiehallinnon kuntotietorekisterin ja erilaisten sovellusohjelmien avulla hallitaan tiestön ylläpitoa ja kohdistetaan toimenpiteitä tarvittaville tieosuuksille. Ensiarvoisen tärkeä on kuntotietojen järjestelmällinen kerääminen ja päivitys kuntotietorekisteriin. Toimenpiteiden kohdistus suoritetaan PMSPRO- ja Hibris-ohjelmien avulla. Tiehallinnon kuntotietorekisterissä on tällä hetkellä olemassa teräsverkollisten teiden kuntotietoja 1990-luvun alkupuolelta lähtien ja vertailutietoa tien kunnosta teräsverkon asentamista edeltävältä ajalta. Teräsverkollisten kevyen liikenteen väylien osalta yhtä kattavia rekisteritietoja ei ole saatavilla, koska kevyen liikenteen väylien kuntotietoja ei ole kerätty yhtä järjestelmällisesti ja yhtä pitkän aikaa kuin maanteiltä.

Kuntotietojen avulla voidaan tarkastella toimenpiteiden vaikuttavuutta ja tienpidon pitkäaikaissäästöjä. Kuntotietorekisterin tietoja on teräsverkkojen vaikutusten osalta tarkasteltu aikaisemmin vuoteen 1998 saakka. Toteutuksessa kuntotietorekisterin tarkastelussa oli mukana vähintään 100 m pitkiä teräsverkko-osuuksia, joista löytyi kuntotietoja ennen ja jälkeen teräsverkkojen asentamisen. Tutkimuksen perusteella vaurioitumisen kehittymistä ennen teräsverkon asentamista kuvasi parhaiten päällysteen ikä ja kantavuus, kun taas pakkasmäärä, lumikertymä, päällystelaji, ajoradan leveys ja liikenteen kuormitus eivät olleet keskeisiä selitystekijöitä. Teräsverkon asentamisen jälkeen vaurionopeus oli selkeästi pienempi kuin edellisten toimenpitekertojen jälkeen. Tilastollisten analyysien perusteella teräsverkollisten tieosuuksien vauriosumma olisi noin yksi kolmasosa teräsverkottoman osuuden arvosta. Kohdekohtaiset erot voivat tietysti vaihdella suuresti. (Väisänen 2001, 21-27, 50 - 54.) Oulun tiepiirin aineiston avulla on myös pyritty selvittämään teräsverkkojen vaikutusta tien kunnan kehittymiseen. Vaikutuksia on selvitetty aikavälillä 1990-2000 toteutetuilta teräsverkollisilta tieosuuksilta että verkottomilta vertailuosuuksilta. Vauriosumman ja IRI-arvon kasvunopeuksista ei saatu selkeää kuvaa, koska aineisto oli pieni. Urasyvyyden kasvunopeus sen sijaan oli teräsverkottomilla rakenteilla keskimäärin noin kaksinkertainen teräsverkollisiin rakenteisiin verrattuna. (Järvinen 2003, 13-15.)

### 5.2 Investointi- ja ylläpitopitokustannukset

#### Investointikustannukset

Tiehankkeiden kannattavuutta laskettaessa keskeinen merkitys on investointikustannuksilla. Hintavertailun tekemistä teräsverkon ja maa-ainesten välillä hankaloittaa se, että teräsverkkojen hinta vaihtelee merkittävästi markkinatilanteen mukaan (Syrjynen, suullinen tiedonanto 28.8.2008). Myös maa-ainesten lopulliseen hintaan vaikuttaa se, kuinka kaukaa ne joudutaan rakennuskohteeseen tuomaan. Hankkeiden kustannusarviot voivatkin muuttua suunnitteluvaiheesta varsinaiseen toteutusajankohtaan.

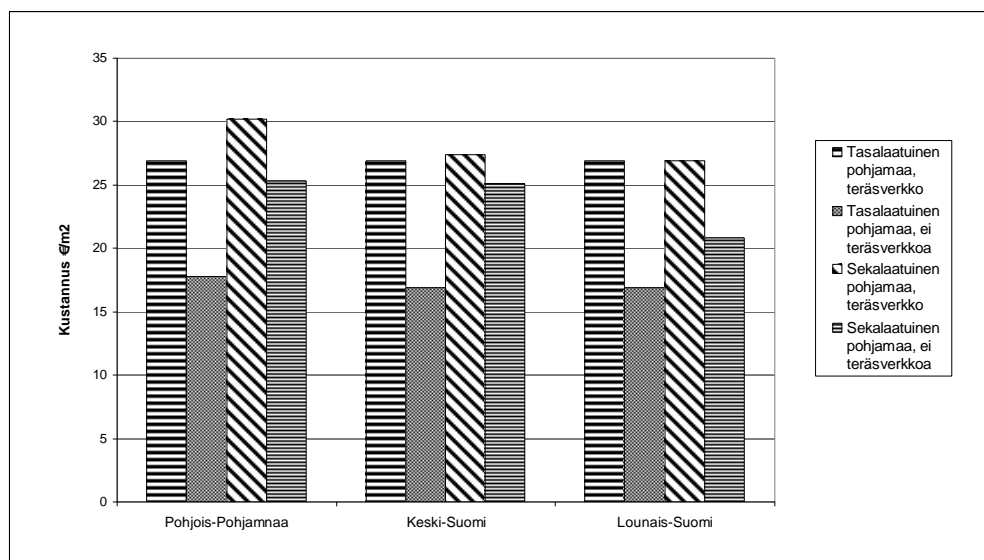
Uudelleenpäällystys- ja rakenteenparantamiskohteissa, joihin on asennettu teräsverkollinen rakenne, ovat kustannukset noin 10 - 40 % suuremmat kuin tavallisilla rakenteilla. Kustannusero johtuu pääasiallisesti teräsverkon inves-

tointikustannuksista. Toteutetuista koekohteista on tehty vertailuja teräsverkollisten, muiden menetelmien ja perinteisten ratkaisujen osalta. Koska myös koekohteissa toteutetut toimenpiteet poikkeavat toisistaan, keskinäinen vertailu ei ole mielekäs. Mitä perusteellisempi parannustoimenpide on kyseessä, sitä edullisemmaksi teräsverkollinen rakenne näyttäisi tulevan. (Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen 1994, 72 - 73; Forsman 2001, 63; Saarelainen & Halonen 2005, 2; Lahtinen & Jyrävä 2006, 20.) Kustannukset on kuitenkin laskettava aina kohdekohtaisesti. Hyvin kantavilla, mutta routivilla mailla uusien tierakenteiden routamitoituksen mukaisia kerroksia voidaan pienentää teräsverkkoja käytettäessä ja tästä voi syntyä säästöjä jo investointivaiheessa.

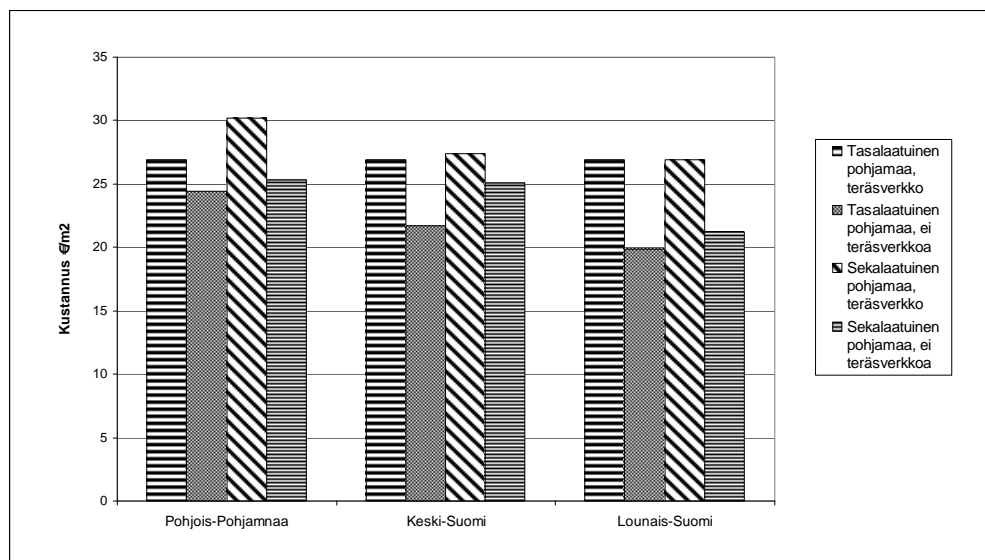
Kaavioissa 7, 8, 9 ja 10 on esitetty investointikustannukset uuden yhdystien ja uuden kevyen liikenteen väylän (mitoitustaulukoiden mukaiset rakenteet) osalta. Laskennoissa on käytetty Tiehallinnon kustannuslaskentataulukon mukaisia rakennusmateriaalien hintoja. Hintatiedot on saatavissa Tiehallinnon Internet-sivuilta. Hinnat sisältävät myös työn. Uudelleen päällystettävän tierakenteen osalta vastaavia kaavioita ei ole esitetty, koska tällaisessa kohteessa teräsverkollisen rakenteen lisäkustannukset verrattuna tavalliseen rakenteeseen koostuu pääosin teräsverkon investointikustannuksista. Samoin on usein kohteissa, joissa tehdään rakenteen parantamista, joskin mahdollisten rakenneratkaisujen valikoima on laajempi ja kustannukset on tarkasteltava tapauskohtaisesti.

Laskennoissa on käytetty seuraavia yksikköhintoja:

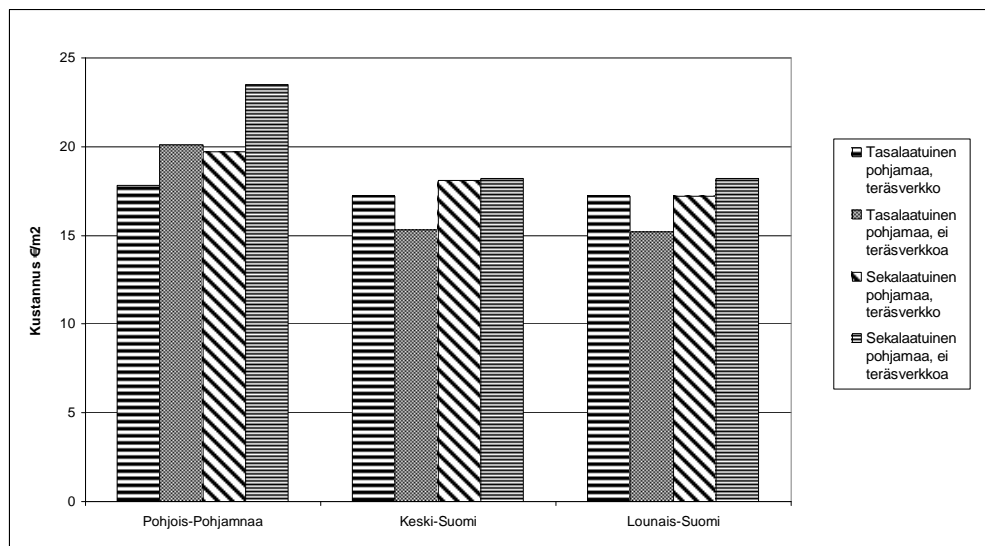
- asfalttobetoni 80 mm; 9 €/m<sup>2</sup>
- asfalttobetoni 40 mm; 6 €/m<sup>2</sup> (kevyen liikenteen väylät)
- sitomattoman kantavan kerroksen murske, kuljetusetäisyys 5-15 km; 12,6 €/m<sup>3</sup>rtr
- jakavan kerroksen murske, kuljetusetäisyys 5-15 km; 9,3 €/m<sup>3</sup>rtr
- suodatin kerroksen hiekka, kuljetusetäisyys 5-15 km; 9 €/m<sup>3</sup>rtr
- teräsverkko 10 €/m<sup>2</sup>
- teräsverkko 5 €/m<sup>2</sup> (kevyen liikenteen väylät).



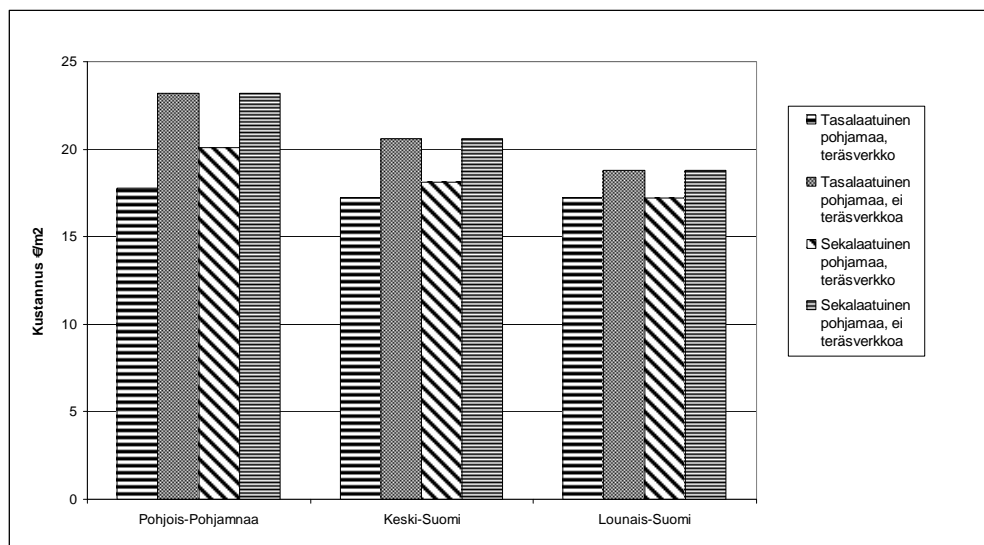
Kuvio 5. Uuden yhdystien teräsverkollisten ja -verkottomien esimerkkirakenteiden mukaiset investointikustannukset.



Kuvio 6. Uuden yhdysstien teräsverkollisten ja -verkottomien esimerkkirakenteiden mukaiset investointikustannukset, kun rakenteen mitoituksessa on huomioitu kallistuskulman muutosta koskevat raja-arvot.



Kuvio 7. Uuden kevyen liikenteen väylän teräsverkollisten ja -verkottomien esimerkkirakenteiden mukaiset investointikustannukset.



Kuvio 8. Uuden kevyen liikenteen väylän teräsverkollisten ja –verkottomien esimerkkirakenteiden mukaiset investointikustannukset, kun rakenteen mitoituksessa on huomioitu kallistuskulman muutosta koskevat raja-arvot.

Laskentojen mukaisissa esimerkkikohteissa yhdystien tierakenne on jo lähtökohtaisesti niin korkea, että routanousun mukaiseen mitoitukseseen ei synny riittävää eroa, jotta teräsverkollinen rakenne olisi jo inventointikustannuksiltaan halvempi. Kevyen liikenteen väylien osalta tierakenne on pienemmän kantavuusvaatimuksen vuoksi ohuempi ja tällöin routamitoituksen mukaisten rakennekerrosten rakentaminen tulee kannattamattomaksi lähes kaikissa vaihtoehdoissa routivilla pohjamailla.

Esimerkkilaskennat tehtiin myös siten, että rakennekerrosten valintaan vaikuttivat edellä esitetyt tienrakenteen sivukaltevuuden muutoksen raja-arvot, mutta teräsverkollisen rakenteen routanousuarvot pysyivät samoina. Teräsverkollisten rakenteiden raja-arvot olivat samat, koska samanlaisesta taulukkoa kuin Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa on, ei ole sivukaltevuuden muutoksen osalta.

### Ylläpito- ja korvausinvestoinnit

Tien rakenteellisen kunnon heiketessä ylläpitokustannukset kasvavat ja palvelutaso laskee. Teräsverkon asentaminen tierakenteeseen pidentää toimenpidevälejä ja siten myös vähentää mm. uudelleen päällystämisen ja rakenteen parantamisen kustannuksia. Reflex-projektin tulosten mukaan teräsverkon käyttö pidentää tien käyttöikää 50-100 % ja näin ollen vähentää uudelleenpäällystysten toimenpidekertojen väliä. (Bianco et al. 2002, 13 -19. Korkiala-Tanttu et al. 2003, 24 - 32). Tiehallinnon kuntorekisteritietojen perusteella teräsverkkoja käytettäessä on mahdollista saavuttaa jopa kolminkertainen toiminta-aika verkottomaan rakenteeseen verrattuna. Toiminta-aikaa rajoittava tekijänä on kuitenkin päällysteen kulumisen. (Väisänen 2001, 39.)

Reflex-projektissa tehtiin myös tarkempi taloudellisuusanalyysi kahdessa kohteessa: moottoritie Suomessa ja valtatie Italiassa. Suomen moottoritietiekohteessa hyöty on suhteellisen pieni 30 vuoden mitoitusajanjaksoja, mutta sen sijaan Italian kohteessa hyöty kasvaa selkeästi 10 vuoden jälkeen. Suomessa sekä perinteisen tierakenteen että teräsverkollisen tierakenteen ylläpito ja korvausinvestoinnit ovat Reflex-projektin taloudellisuusvertailun mukaan kustannuksiltaan samaa luokkaa vaikka toimenpidevälit ovatkin teräsverkollisella rakenteella pidemmät. Italian valtatiekohteessa ylläpito ja korvausinvestoinnit perinteisellä tierakenteella ovat taas noin kaksinkertaiset Suomen kohteeseen verrattuna, mutta teräsverkollisen tierakenteen ylläpidon ja korvausinvestointien kustannukset noin puolet Suomen kohteen vastaavista kustannuksista.

Teräsverkoilla saatava hyöty on keskeisesti riippuvainen myös siitä, mitä tietyyppiä tarkastellaan. Suomessa teräsverkkojen pääasiallisia käyttökohteita ovat yhdystiet, joilla rakennekerrokset ovat ohuempia kuin esimerkissä olleella moottoritieellä. Tällöin vuosikustannukset molemmilla rakennetyypeillä olisivat varmasti erilaiset kuin esitetyllä moottoritiekohteella. Vastaavia kustannustarkasteluja tulisi tehdä useammille erityyppisille kohteille, jotta saataisiin selville millaisia tieluokka- tai kohdekohtaisia eroja mahdollisesti löytyy. Teräsverkon taloudellinen merkitys riippuu myös rakennuskohteen maaperästä ja maantieteellisestä sijainnista. Taloudellisuustarkastelu tulee tehdä tapauskohtaisesti, jotta ylläpitoinvestointien elinkaarivaikutukset saadaan selville 30 vuoden aikajakson ajalta.

Korvaus- ja ylläpitoinvestointien vaihtoehtoja tarkasteltaessa tulisi elinkaari-tarkastelut ottaa kiinteäksi osaksi hankesuunnittelua. Käytännössä kuitenkin tarkastelujen suorittamista haittaa laajempien ja laadukkaampien lähtötietojen puute etenkin teknisen käyttöikämitoituksen osalta. (Korkiala-Tanttu et al. 2005, 33-34.) Tämä ongelma tulee osittain esille myös liikennetalouden laskentojen yhteydessä. Ongelmia muodostuu myös siitä, että tarjousten vertailua varten ei ole vielä kehitetty selkeää menetelmää, joka olisi oikeudenmukainen. Elinkaariperusteisten tienpidon hankintojen toteuttaminen on kuitenkin kansatalouden ja tien käyttäjien kannalta merkittäviä. Näin päästään parempaan kustannus- ja ekotehokkuuteen. (Korkiala-Tanttu et al. 2005, 40-41.) Elinkaarikustannusanalyysien laskentaesimerkkejä on mm. raporteissa Elinkaaritarkastelut tiepidon hankintoihin (Korkiala-Tanttu et al. 2005) ja Päälysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi (Petäjä & Spoof 2001).

### 5.3 Liikennetalous

Tierakenteen elinkaarta tarkasteltaessa merkittävimmät kustannukset koostuvat ajokustannuksista, eli tien käyttäjiin kohdistuvista kustannuksista. Näiden kustannusten laskeminen on kuitenkin työlästä. (Korkiala-Tanttu et al. 2005, 20-21.) Tiehankkeiden hyöty-kustannussuhdetta varten lasketaan aika-, ajoneuvo-, onnettomuus- ja ympäristökustannukset. Ajokustannusten laskennassa käytetään Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005 -ohjetta. Ohjeessa on esitetty laskennan perusteet ja käytettävät laskenta-arvot. (Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005.) Ajokustannusten käyttöä toimintasuunnitelmissa on myös pyritty kehittämään mm. vuosina 2002- 2007 toteutetussa Tiehallinnon tutkimusohjelmassa Vaikutusten hallin-

ta (VAHA). Erityisesti on tutkittu ja arvioitu ajokustannusten huomiointia pitkän tähtäyksen suunnitelmien (PTS) ja toiminta ja taloussuunnitelmien (TTS) käytössä. Keskeistä on, että tunnistetaan tehtyjen pitkän aikavälin linjausten vaikutus ajokustannuksiin. (Ristikartano et al. 2003,42-53; Ristikartano et al. 2004, 22, 38, 55-59.)

Teräsverkkojen liikennetaloudellisia kustannuksia tai vaikutuksia ei ole aikaisemmin tarkasteltu. Liikennetaloudellisten kustannusten laskenta on käytännössä hankala toteuttaa, koska laskennoissa tarvitaan useita muuttujia eikä kaikkia tarvittavia tietoja välttämättä ole saatavilla. Teräsverkkojen käytön vaikutuksia ajokustannuksiin voidaan kuitenkin tehdä erilaisten vaihtoehtoisten oletusten pohjalta. Kunnossapidon näkökulmasta on olemassa laskentamenetelmiä ja malleja, joita tässä kohdin voidaan soveltaa. Tiehallinnon tutkimusohjelmassa Väyläomaisuuden hallinta (VOH) on yhtenä osa-alueena tarkasteltu ajokustannusten kuntoriippuvuutta sekä päällystetyillä että sorateilla. Työn tuloksena saatiin kehitettyä mallit ja laskentataulukko, jonka avulla voidaan tarkastella erilaisissa kuntoilanteissa. (Ristikartano et al. 2005, 54-63.) Sitten malleja ja laskentataulukkoa on kehitetty edelleen ja päivitetty (Ristikartano et al. 2006). Teräsverkon käytön vaikutuksia tien kuntoon ja vertailua muihin vaihtoehtoihin toimenpiteisiin voisi kokeilla em. mallien perusteella tehtyjen laskentojen avulla. Tässä työssä laskentoja ei ole ollut kuitenkaan mahdollista toteuttaa.

### **Matka-aikasäästöt**

Matka-aikasäästön arvo kuvaa ajettujen matkojen ajallisen lyhenemisen tienkäyttäjille tuottamaa hyötyä. Matka-aikasäästöjä syntyy mikäli hanke tai toimenpiteet lyhentävät matkaan kulunutta aikaa. (Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005, 10). Tässä kohtaa esimerkkinä voisi olla tapaus, jossa tien nopeusrajoitusta on laskettu 70 tai 60 km/h 80 km/h sijaan tien heikentyneen kunnon vuoksi. Kun tietä parannetaan ja asennetaan mahdollisesti teräsverkko, jonka oletetaan pitävän tien kunnon pidempään parempana kuin tavallisen tierakenteen, syntyy tästä tierakenteen mitoitusaikana matka-aikasäästöjä.

### **Ajoneuvokustannukset**

Ajoneuvokustannukset muodostuvat ajoneuvon käyttökustannuksista. Jos esimerkiksi tiehankkeen johdosta matka lyhenee, polttoaineenkulutus ja ajoneuvon kulumisen vähenevät (Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005, 8). Ajoneuvokustannusten laskennassa voidaan ottaa huomioon myös päällysteen epätasaisuuden aiheuttama vierintävastuksen muutos. Vierintävastuksen kasvuun vaikuttavat monet eri tekijät mm. tien pituussuuntainen epätasaisuus, ajonopeus, renkaat ja renkaiden lämpötila. Esimerkiksi ajonopeuden kasvu lisää vierintävastusta ja polttoaineenkulutusta ja edelleen ajoneuvokustannuksia. Raskailla ajoneuvoilla vaikutus on suurempi kuin henkilöautiolla. (Lampinen 2004, 39 – 40; Tien päällysteen epätasaisuuden vaikutus ajoneuvojen vierintävastukseen ja ajoneuvokustannuksiin 2005, 46-48.) Esimerkiksi jos tietä parannetaan ja nopeusrajoitusta nostetaan, kasvavat ajoneuvokustannukset, mutta matka-aikasäästöjä kertyy lisää jne. Vierintävastukseen vaikuttavien eri tekijöiden osuuksien vaikutus ajokustannuksiin ei siis ole yksiselitteinen.

## Tiepidon toimien turvallisuusvaikutukset ja onnettomuuskustannukset

Eri toimenpiteet vaikuttavat eri tavoin henkilövahinkoihin johtaneiden onnettomuuksien määrään. Tehtävät toimenpiteet vähentävät lähes poikkeuksetta henkilövahinkoon johtaneita onnettomuuksia, mutta esimerkiksi tien päällystäminen ja nopeusrajoituksen korotus 80 km/h:sta 100 km/h:iin lisäävät henkilövahinkoihin johtaneiden onnettomuuksien määrää (Peltola & Wuolijoki 2003, 50 - 51). Tällöin toimenpide vaikuttaa liikennetalouden osalta kannattavuutta laskevasti.

Kevyen liikenteen väylien osalta turvallisuutta heikentävät mm. routahalkeamat, joista on eniten haittaa polkupyöräilijöille ja rullaluistelijoille. Kaatumistapaturmien määrää on vaikea arvioida, koska niistä ei ole tietoja mm. poliisin onnettomuustilastoissa. Vakuutusyhtiöiden maksamien tapaturmakorvausten ja sairaaloiden potilastietojen perusteella arvioita on sen sijaan ollut mahdollista tehdä. Aikavälillä huhtikuu-lokakuu vuosittaisista jalankulkijoiden kaatumistapaturmista noin 5 % ja polkupyöräilijöiden kaatumistapaturmista noin 13 -15 % voidaan arvioida johtuvan kevyen liikenteen väylän epätasaisuuksista. Tapaturmista aiheutuvat kustannukset muodostuvat mahdollisista sairaalapäivistä ja töistä poissaoloista. Erityisesti kaupunkiolosuhteissa lisäpanostukset väylien kunnossapitoon ovat tärkeitä ja ne pitäisi toteuttaa nopealla aikataululla. Lisäksi kaatumistapaturmien vähentämisestä on saatavissa pienillä kustannuksilla suuremmat kustannussäästöt kuin muista liikenneonnettomuuksista. (Vuoriainen et al. 2000, 44-48, 77-81.)

## Ylläpitotoimenpiteiden aiheuttamat lisäkustannukset

Tiepidon toimenpiteistä aiheutuu tienkäyttäjille rakentamisen aikaisia lisäkustannuksia aika-, ajoneuvo-, onnettomuus- ja ympäristökustannuksina sekä ajomukavuuden heikentymisenä. Suomessa ei ole yleisesti käytössä olevaa menetelmää tietyömaiden aiheuttaminen liikennehaittojen arviointiin. Yksittäisiä kohdekohtaisia laskentoja ja arviointeja on kyllä tehty. Vastaava tilanne on myös muissa Pohjoismaissa. Joissakin Euroopan maissa on käytössä erilaisia menetelmiä, mutta ei vakiintuneita käytäntöjä. (Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi 2000, 20, 30.)

Lisäkustannusten laskennassa voidaan käyttää samoja yksikkökustannuksia kuin Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot -ohjeessa on mainittu. Tien käyttäjille rakentamisen aikana muodostuva lisäkustannus voi olla merkittävä vilkasliikenteisillä, ruuhkautuvilla ja tietyön aikana huonon välityskyvyn omaavilla tieosilla, mutta vähäliikenteisillä teillä lisäkustannusten merkitys on vähäinen. Jos työn aikana joudutaan käyttämään kiertoteitä, myös tällöin lisäkustannukset kohoavat nopeasti. (Petäjä & Spoof 2001, 21 - 22.)

Teräsverkotetun tien ylläpitotoimenpiteiden väli on pidempi kuin teräsverkotomalla rakenteella. Esimerkiksi 20 vuoden aikajaksolla teräsverkollista moottoritietä on uudelleen päällystetty tai paikattu kolme kertaa, kun taas tavallisella tierakenteella aikavälillä joudutaan suorittamaan päällysteen ylläpitotoimenpide neljä kertaa. (Bianco et al. 2002, 17.) Ylläpitotoimenpiteiden aiheuttamat lisäkustannukset ovat siis vilkasliikenteisillä, teräsverkottomilla teillä suuremmat. Lisäkustannuksia on mahdollista tulevaisuudessa vähentää asennettaessa teräsverkkoja kaista kerrallaan, jolloin ajoneuvojen ohiajo

on nopeampaa ja turvallisempaa kuin jos ajoneuvot ajaisivat teräsverkkojen päältä.

### **Ympäristökustannukset**

Tiehankkeisiin liittyviä ympäristökustannuksia ovat pakokaasupäästöt ja liikennemelu. Meluhaittaa käsitellään melun häiritseväksi kokevien tienvarren asukkaiden väestöosuuden, melutason ja meluhaitan yksikköarvon avulla. (Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005, 14.) Esimerkiksi tien uudelleen päällystyksen yhteydessä rengasmelu vähenee ja kustannus melun osalta pienenee, kunnes päällyste kuluu ja tien kunto taas alittaa ylläpitotoimenpiteen rajan.

Pakokaasupäästöjen yksikköarvot kuvaavat menetyksiä, joita seuraa pakokaasujen aiheuttamista terveys- ja luontovaikutuksista sekä ilmastonmuutoksesta. Pakokaasupäästöjä vähentävät hankkeet tuottavat hyötyjä haitallisten vaikutusten alenemisen muodossa. Osa pakokaasupäästöjen vaikutuksista on paikallisia, osa alueellisia. (Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005, 14.) Pakokaasujenkin osalta pätee samat periaatteet kuin em. kustannuksissa.

Ympäristöön kohdistuvien vaikutusten laskennassa on hyvä ottaa huomioon myös tien elinkaaren aikainen materiaalien tarve. Esimerkiksi, jos teräsverkollinen maantie päällystetään uudelleen kolme kertaa tavanomaisen rakenteen vaatiman neljän kerran sijaan (toimenpiteet) tien 20 vuoden käyttöiän aikana, säästyy luonnonvaroja työkoneiden käyttämistä polttoaineista, bitumista sekä kivimateriaalista.



## 6 RAKENTAMINEN

### 6.1 Asennusmenetelmät

#### Yleistä teräsverkkojen asentamisesta

##### *Kuljetus ja varastointi*

Teräsverkot kasataan tehtaalla valmiiksi nipuiksi ja hyvin pitkien verkkojen kohdalla niput tuetaan paksummilla tangoilla. Teräsverkkojen varastoinnissa ja kuljetuksissa tulisi käyttää jäykkää ja tasaista alustaa vaurioiden minimoimiseksi. Teräsverkkojen vaurioitumattomuus on tärkeää erityisesti silloin, kun verkot asennetaan päällystekerrokseen. (Gustafsson et al. 2002, 61). Lisäksi työmaalla teräsverkot tulee varastoida säältä suojattuna. (Sandberg & Björnfot 2004.)

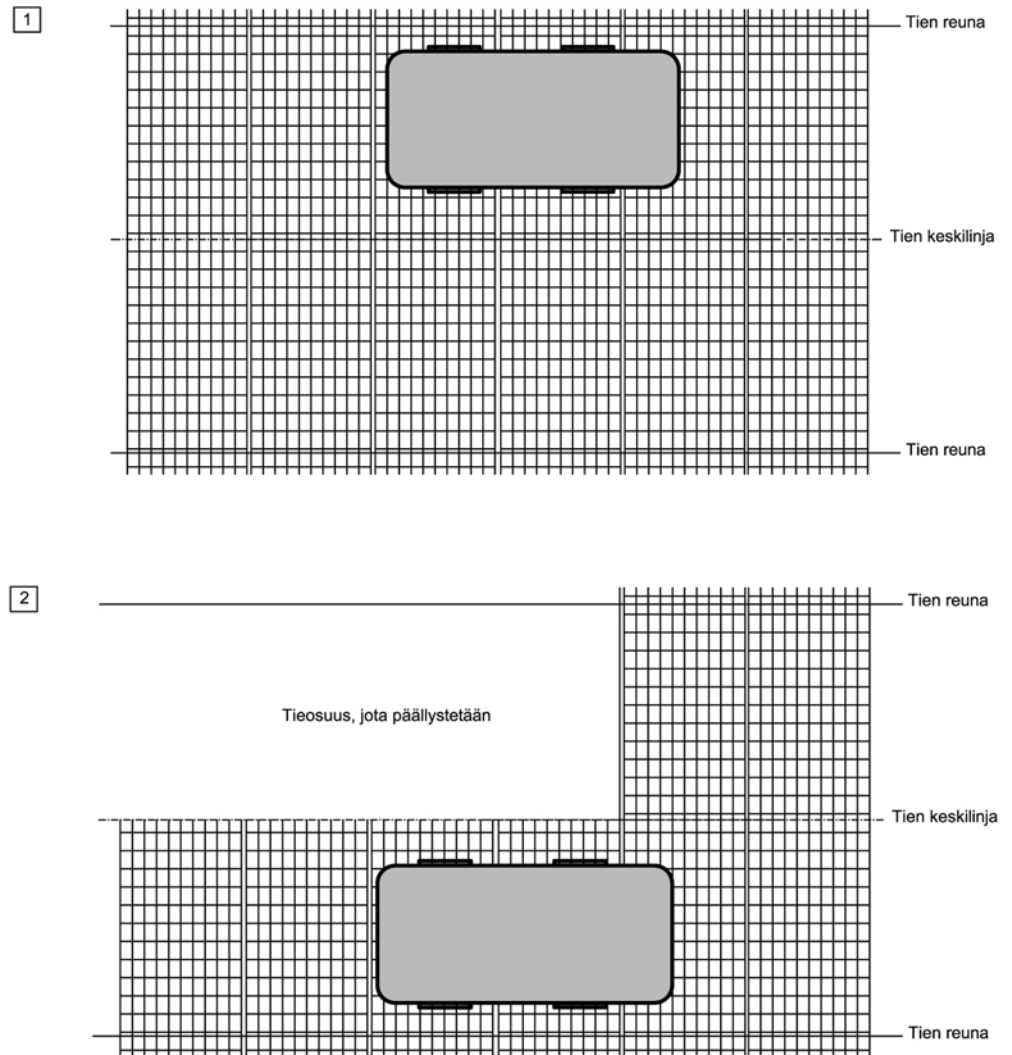
Teräsverkot kannattaa purkaa kuljetusautosta suoraan asennuspinoiksi, jolloin voidaan välttää verkkojen ylimääräiset nostot ja mahdolliset vauriot. Asennustyötä varten tien reunaan jaetut teräsverkkopinot olisi suositeltava sijoittaa noin 40 - 50 m välein, jolloin verkkojen kantomatka jää kohtuulliseksi (Heikkinen 1991, 10; Sandberg & Björnfot 2004, 75). Verkkoja voidaan myös kuljettaa pyöräkuormaajan haarukoissa (2 m), mistä asentajat nostavat verkot suoraan tielle. Tällöin hukkaverkkoja tulee mahdollisimman vähän. Ennen asennusta tulee varmistaa, että verkot ovat kuormaajassa oikein päin, ja ne voidaan asentaa paikoilleen ilman kääntämistä. Työmaa-ajoneuvojen kuljettajia pitää ohjeistaa siitä miten verkkojen päällä ajetaan. (Gustafsson et al. 2002, 81; Sandberg & Björnfot 2004, 12.)

##### *Asennusvaihtoehdot*

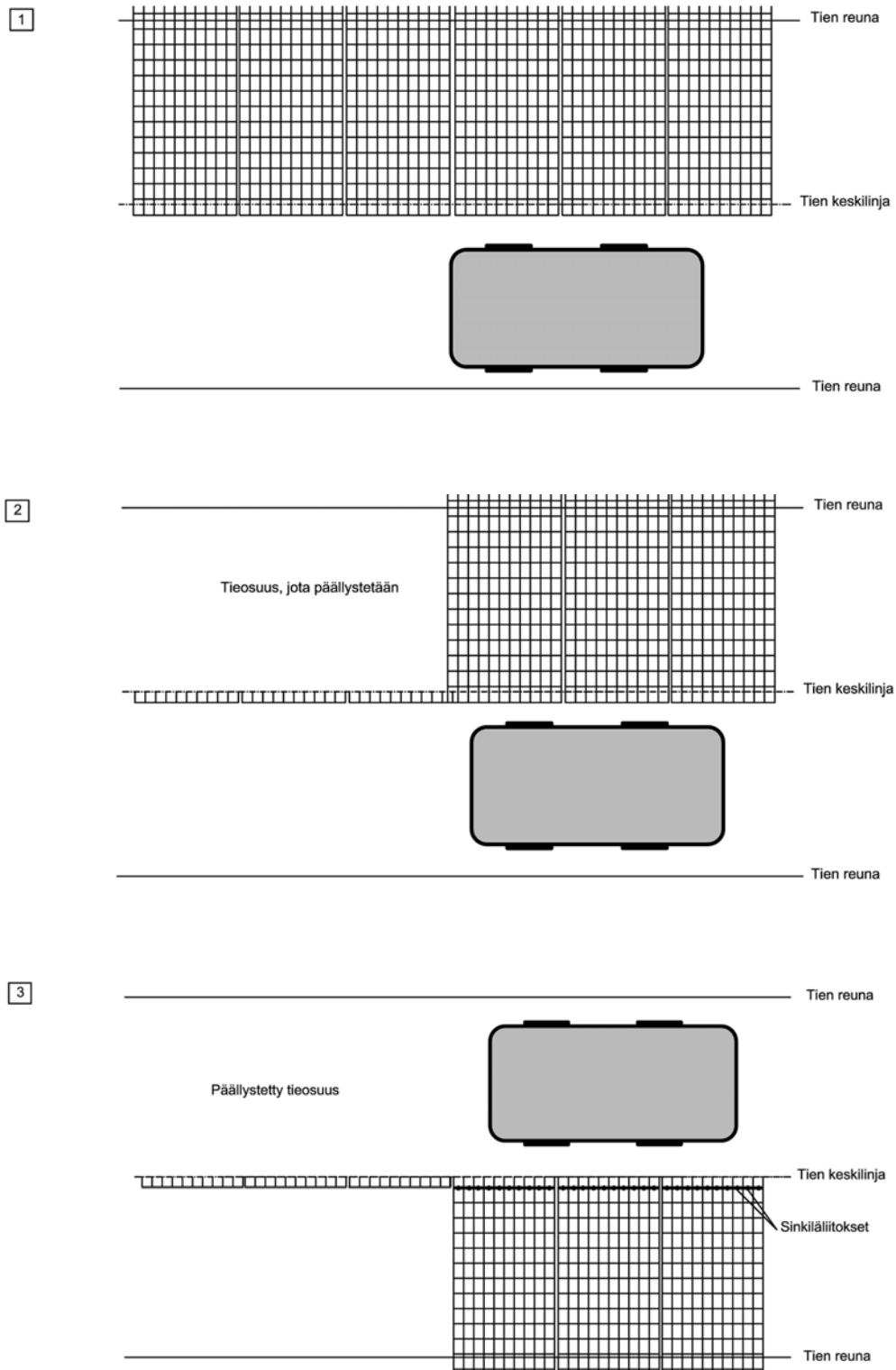
Teräsverkot voidaan asentaa koko tien leveydellä tai liittää teräsverkot sinkiläliitoksin tien keskilinjalla (ks kuvat 11 ja 12). Aiemmissa ohjeissa on kuitenkin suositeltu, että teräsverkkoja ei liitetä toisiinsa tien keskilinjalla, koska tällöin on koekohteissa ilmennyt roudan aiheuttamia keskihalkeamia (Said et al 2000, 37; Said et al. 2001, 22; Sandberg & Björnfot 2004, 9-10). Kun työ toteutetaan liittämismenetelmällä, voidaan asennusta tehdä kaista kerrallaan. Liittämismenetelmä on uusi ja siitä kerätään käytännön kokemuksia. Teräsverkkojen tien pituussuuntaisten sinkiläliitosten vedon kestävyys on varmennettu Tampereen teknillisessä yliopistossa tehdyissä vetokokeissa (Luoma 2005). Teräsverkot asennetaan vielä toistaiseksi käsityönä.

##### *Asennustyö*

Verkkojen asennustyössä on erityisesti otettava huomioon oikeat työskentelyasennot, koska asentaminen tehdään pääosin käsityönä. Työ rasittaa erityisesti selän seutua ja käsiä. Oikeat nostoasennot ovat työn rasittavuuden minimoimisen kannalta keskeisiä. Jos teräsverkkoja liitetään sinkilöillä, on varmistuttava siitä, että verkot on asennettu oikein päin ja sinkilöiden liittäminen tapahtuu oikein ja myös tällöin vältetään selän ja käsien ylimääräinen rasitus. (Haastattelu A. Krook, 10.4.2007; haastattelu O. Heinilä, 4.4.2007.)



Kuva 11. Verkkojen asentaminen kerrallaan koko tien leveydelle. Verkot asetetaan vieri viereen. Liikenne joutuu kulkemaan teräsverkkojen päältä.



Kuva 12. Liitettäessä teräsverkot sinkilöillä, voidaan verkkoja asentaa kaista kerrallaan. Tällöin toinen kaista on aina vapaana ohiajajille ajoneuvoille.



*Kuva 13. Teräsverkot ovat koko tien levyisiä. Teräsverkkoja asennetaan käsin asennuspinoista. Työasentoihin on tärkeä kiinnittää huomiota asennustyön aikana. Kuva: Sami Haapalainen*

### *Työn aikainen liikenne*

Työskenneltäessä tieosuudella, jolla on liikennettä, on järjestettävä liikenteen ohjaus. Jos teräsverkot levitetään kerrallaan koko tien leveydeltä, tulisi mahdollisuuksien mukaan tiellä liikennöinti järjestää siten, että paljaiden verkkojen päältä ei ajeta. (Heikkinen 1991, 10; Sandberg & Björnfot 2004.) Tällöin voidaan järjestää liikenteelle korvaava kiertotie. Jos kiertotiejärjestelyjä ei voida toteuttaa, levittää verkkoja liikenteellä olevalle tielle noin 40 m jaksoissa. Tällöin ajoneuvot eivät aja verkkojen päällä pitkää matkaa ja näin voidaan sekä ajoneuvoille että verkoille aiheutuvat haitat minimoida. (Heikkinen 1991, 11.) Kolmas vaihtoehto on asentaa verkkoja sellainen määrä kerrallaan, että ne saadaan nopeasti peitetyksi ja liikennettä voidaan välillä päästää työmaan lävitse, jolloin liikenne ei kuitenkaan kulje paljaiden verkkojen päältä. Rakenteiden ylitse kulkevan liikenteen minimoimiseksi Ruotsissa teräsverkkoja on asennettu myös yöllä (Said et al. 2001, 39). Verkkojen päältä ajettaessa nopeus tulisi olla maksimissaan 10 km/h niin ohiajavalla liikenteellä kuin työmaa-ajoneuvoilla. (Sandberg & Björnfot 2004.)







*Kuva 16. Teräsverkot peitetään heti asentamisen jälkeen. Teräsverkkojen asennuspinnat tulee olla tasaisella alustalla. Kuvassa teräsverkot on varastoitu virheellisesti ojan päälle. Kuva: Sami Haapalainen.*

Kun asennuskerros on saatu tiivistettyä, verkot asetetaan vieri viereen puskaumaan ilman limitystä siten, että tien leveyssuuntaiset päälangat tulevat alapuolelle ja sidontalangat yläpuolelle, koska muuten jännitysten kasvaessa verkossa verkot voivat kohota tiestä. Ulkokaarten puolella teräsverkot vedetään toisistaan erilleen. Pienisäteisissä kaarteissa verkkojen sidelangat laitetaan alapuolelle, koska näin tomittaessa verkot eivät pääse liukumaan. (Heikkinen 1991, 11; Sanberg & Björnfot 2004, 9-10, 73, 75.) Eräässä koe-kohteessa teräsverkkojen välille on jätetty väli (max. 1,5 m), ilman, että vauriot merkittävästi lisääntyvät. (Ahonen et al. 2001, 47). Teräsverkot peitetään välittömästi asentamisen jälkeen, jotta suoraa liikennekuormitusta ei tule tai se jää mahdollisimman vähäiseksi.

### **Teräsverkon asentaminen sidottuihin kerroksiin**

Teräsverkkojen asentamista sidottuihin kerroksiin koskevat samat perussäännöt kuin edellä on esitetty sitomattomien kerrosten osalta. Näiden lisäksi on joukko seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon työn suunnittelussa ja suorituksessa. Jos teräsverkoille on määritelty limitys, sen tulee ilmetä suunnitelma-asiakirjoista. (InfraRYL 2006, 212)

#### *Vaurioiden minimointi*

Teräsverkot pyrkivät luonnostaan kohoamaan keskeltä (2-10 cm) verkon leveyssuunnassa. Kuormitus vaikuttaa jännityksiin teräsverkoissa ja jännitykset kasvavat erityisesti silloin kun liikenne menee teräsverkkojen reunojen läheltä. Kohoaminen on suurempi ongelma sidottuihin kerroksiin teräsverkoja asennettaessa. Teräsverkkojen kohoamisen välttämiseksi voidaan huolehtia seuraavista seikoista:

- tuotannossa varmistetaan hitsausliitosten lujuus
- kuljetus tapahtuu varovasti ja nipuissa

- säilytys työmaalla tasaisella alustalla ja suojattuna
- ajoneuvojen ylikulku minimoidaan.
- asentajat tarkkailevat teräsverkkojen käyttäytymistä päällystyksen aikana ja tarvittaessa painavat verkkoja tasoa vasten. (Gustafsson et al. 2002, 77-78.)

Teräsverkko ei saa olla ruostunut sidottuihin kerroksiin asennettaessa, mutta teräsverkkojen ei tarvitse olla ruostesuojattuja. Teräsverkot ovat toimitettaessa useimmiten pintaruosteessa (J. Syrjynen, suullinen tiedonanto 28.8.2008). Teräsverkot on hyvä liimata tiealustaan emulsiolla, joka toimii samalla myös korroosiosuojana, kuten luvussa kolme mainittiin. (Gustafsson et al. 2002, 80.)

### *Päällysteen levitys*

Kuten sidottuihin kerroksiin asentamisen osalta todettiin, teräsverkot pyrkivät luonnostaan kohoamaan keskeltä (2-10 cm) verkon leveyssuunnassa. Kun asfalttimassaa levitetään, verkko ei välttämättä painu alakerrosta vasten. Asfalttimassan kivimateriaali saattaa myös ajautua verkon alle eikä verkko näin ollen pääse painumaan asfaltin alle tai verkkoa jää jopa näkyviin. Ongelma korostuu etenkin silloin, kun teräsverkon päälle levitetään ohut asfalttikerros. Teräsverkkojen kohoaminen johtuu usein siitä, että työmaakoneiden ja teräsverkkojen yli kulkevien ajoneuvojen kulku on sallittava ennen päällysteen levittämistä. Liikennekuormitus vaikuttaa jännityksiin teräsverkoissa ja jännitykset kasvavat erityisesti silloin kun liikenne menee teräsverkkojen reunojen läheltä. Joskus asfalttimassa levityksessä voidaan tarvita asentajia levityskoneen molemmin puolin verkkoja painamaan. Ongelmaan on kehitetty mm. Ruotsissa erilaisia ratkaisuja. Fundia ja eräät päällysteyturakoitsijat ovat kehittäneet asfalttimassalevittäjän, jossa on pyörät levittäjän edessä (noin 1 m) painamassa teräsverkkoja levitysalustaa vasten (Gustafsson et al. 2002, 77 - 78).

Asfalttimassan levittäjän tulisi olla pyörillä kulkeva neliakselinen asfalttilevittin. (Heikkinen 1991,11). Levittimen renkaat tulisi myös olla synkronoidut, koska muuten teräsverkot voivat työntyä ylöspäin levittäjän alla. Levittäjän pyörät eivät saa liikkua liian nopeasti tai liukua, koska teräsverkko voi tällöin vaurioitua. Ylämäessä päällystettäessä pitää tarkkailla, että asfalttimassan levittäjä ei työnnä asfaltinkuljetuskalustoa, koska silloin on vaara, että renkaat liukuvat ja verkko liukuu taaksepäin. Myös voimakas jarruttaminen voi aiheuttaa vaurioita. Päällyste jyrätään, kun asfalttimassa on kulloisellekin alueelle kokonaan levitetty. Tällöin teräsverkot eivät pääse vääntymään reunoilta ylöspäin. Jyrällä voi täristää normaalisti. Kaiken kaikkiaan kuljetusajoneuvojen tulee ajaa teräsverkkojen päällä hyvin hitaasti ja levittäjän asfalttimassakuorma ei saa olla liian suuri ja painava, koska teräsverkot voi myös tällöin siirtyä eteenpäin. (Gustafsson et al. 2002, 78-79.)

### *Jyrsintä ja uudelleen päällystys*

Tierakenne, jossa on jo teräsverkkoja asennettuna päällysteeseen, voidaan päällystää uudelleen. Työtä aloitettaessa tulee olla tierekisteritiedot teräsverkojen osuuskien alku- ja loppupisteistä. Tieräkisterin tietojen perusteella ei aina kuitenkaan pystytä täysin tarkasti sanomaan mistä verkko alkaa ja mihin se loppuu. Tällöin voidaan käyttää apuna maatutkaa. Jyrsintäsyvyyyttä

määritettäessä voidaan ottaa näytteitä eri kohdista syvyyden arvioimiseksi. (Sandberg & Björnfot 2004, 83.)

Työ vaatii työntekijöiltä erityistä tarkkuutta. Jyrsinnän edetessä on koko ajan seurattava mahdollista teräsverkon sijainnin muuttumista. Jos tässä ei olla tarkkoja, voi teräsverkko tarttua jyrsintäkoneen valssiin. Tämä on ollut ongelma etenkin pehmeän asfaltin kohdalla. (Sandberg & Björnfot 2004, 83.) Työn jälkeen varmistetaan, että tierekisteriin tulee oikeat tiedot teräsverkkojen sijainnista.

## 6.2 Laadunvalvonta

### Verkkojen toimitus ja vastaanotto

Tierakenteissa käytettävien teräsverkkojen materiaalit tulee olla CE-merkittyjä. Jos merkintää ei ole, tulee tuotteen vaaditut ominaisuudet osoittaa luotettavasti esimerkiksi rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla. Teräsvahvisteet tarkastetaan työmaalla kuormakirjoista ja silmämääräisesti. Lujitteen alusta ja sitä ympäröivien materiaalien tulee olla suunnitelma-asiakirjojen mukaiset. (InfraRYL 2006, 211.) Vastaanotettaessa tarkastetaan, että verkot ovat oikean mittaisia, teräkset oikean kokoisia ja hitsaukset ehjiä eivätkä verkot ole ruosteessa. Verkkojen kuljetuksissa ja varastoinnissa pitää käyttää tasaista alustaa. (Höynälä & Mäkelä 2004, 20; Sandberg & Björnfot 2004, 74.)



*Kuva 17. Teräsverkkoja ei saa kuljettaa vain yhteen pisteeseen tuettuina. Kuvassa on virheellinen ja teräsverkkoja vaurioittava kuljetustapa. Kuva: Sami Haapalainen.*



## Teräsverkkojen asentaminen

Teräsverkkojen laadunvalvontaan liittyviä seikkoja tuli esille asennusmenetelmiä koskevassa luvussa, mutta tässä tuodaan vielä esille muutamia muita näkökohtia. Teräsverkot varastoidaan tuotteen valmistajan sekä suunnitelma-asiakirjojen ohjeiden mukaisesti. (InfraRYL 2006, 212.) Myös teräsverkkojen asennuspinot pitää muistaa sijoittaa tasaiselle alustalle. Teräsverkkoja tulee nostaa siten, että noston aiheuttama rasitus ei kohdistu yhteen pisteeseen ja hitsausliitokset säilyvät ehjinä (ks. kuva 15). Kuljetus voidaan suorittaa esim. pyöräkuormaajan haarukoissa. (Sandberg & Björnfot 2004, 12.) Näillä toimenpiteillä pystytään välttämään kuljetusten ja siirtojen teräsverkoille aiheuttamat vauriot. Jos teräsverkoille on määriteltä limitys, sen tulee ilmetä suunnitelma-asiakirjoista. (InfraRYL 2006, 212)

Ennen asennusta tarkistetaan, että alustan tasaisuus, rakeisuus ja tiiviys ovat suunnitelma-asiakirjojen mukaiset. (InfraRYL 2006, 212.) Rakennekerrosten tiivistäminen on erityisen tärkeää, jotta verkot ankkuroituvat rakenteisiin (Mäkelä 1998, 46-50, 54-59; Aalto et al. 1998, 26-27). Jos asennuspohja on tasainen, lujitteen vetovoima kehittyy mahdollisimman pienellä muodonmuutoksella. Tällöin lujitteeseen syntyy vähemmän jännityskeskittymiä ja riski tyhjätilojen muodostumisesta lujitteen alle pienenee. Teräsverkot levitetään tuotteen valmistajan ohjeiden sekä suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. Jos teräsverkoille on määriteltä limitys, sen tulee ilmetä suunnitelma-asiakirjoista. (InfraRYL 2006, 212.)

Jos teräsverkot on asennettu päällystekerrokseen, huolehditaan siitä, että alusta on riittävän tasainen ja mahdolliset deformaatiot jäävät pieniksi (Gustafsson et al. 2002, 71). Teräsverkollista tietä päällystettäessä tulee aina kiinnittää erityistä huomiota keskisauman tekemiseen. Keskisauman vetolujuus ei saa jäädä selvästi kaistoja heikommaksi, jotta se ei tätä kautta edesauta keskihalkeamien syntymistä (Rathmayer et al. 2006, 92).

Teräsverkkoja ei tule asentaa maan ollessa jäässä. Tällöin epätasaisesti sulava maa voi aiheuttaa verkkoon puristusta ja edelleen nostaa verkkoa ja rikkoa päällystettä. (Höynälä & Mäkelä 1999, 25.)

Luvussa 5.3 käsiteltiin työaikaista liikennettä. Paljaiden teräsverkkojen päältä ei tulisi ajaa tai ajaa tulisi ainakin minimoida. Verkkojen kannalta ajoneuvojen nopeus 10 km/h tunnissa auttaa takaamaan, että teräsverkoille yliajasta koituvat vauriot ja verkoihin syntyvät jännitykset ovat mahdollisimman pieniä. (Sandberg & Björnfot 2004.)

## Valmis rakenne

Valmiissa rakenteessa lujiteverkot tulee olla suunnattuna oikein ja sijainti olla suunnitelma-asiakirjojen mukainen. Kelpoisuusasiakirjaa varten piirretyissä rakenteen pituus- ja poikkileikkauksissa tulee esittää vahvisteen toteutunut sijainti. Kuormakirja ja rakentamisen aikana tehty valvontamittausten tiedot liitetään kelpoisuusasiakirjoihin. Laatutiedot tulee merkitä myös piirustuksiin. (InfraRYL 2006, 211, 213.)

Työn jälkeen varmistetaan, että tierekisteriin tulee oikeat tiedot teräsverkkojen sijainnista. Valmista tierakennetta seurataan Tiehallinnon palvelutaso- ja

vauriomittausten avulla. Myös silmämääräistä seuranta voidaan tehdä. Koska mittaustulokset tallennetaan Tiehallinnon kuntotietorekisteriin, voidaan näiden tietojen avulla tehdä tien kunnon ja palvelutason pitkäaikaisseuranta sekä myös seurata toimenpiteiden toteutusvälejä.

Koekohteissa tien kuntoa seurataan tiiviimmin. Tarkemmin seuratuista koe-rakenteista tehdään venymäliuska- ym. mittauksia määrätyn ajan ja näin päästään mahdollisesti kiinni vaikutusmekanismien syiden analysointiin.

### **Kadut**

Katutyömailla joudutaan monesti tekemään korjaustöitä ja ottamaan tierakenteita auki. Mikäli kyseessä on teräsverkotettu osuus, on korjaustoimenpiteiden yhteydessä katurakennetta suljettaessa varmistuttava, että leikattujen verkkojen kohdalle laitetaan uudet verkot koko tien leveydeltä, koska muuten verkot eivät enää toimi. (Gustafsson et al. 2002, 79.)

### **Teräsverkollisen asfaltin purkujätteen kierrätys**

Teräsverkkojen erottaminen asfaltista on käytännössä hyvin hankala toteuttaa kustannustehokkaasti. Teräsverkollinen asfalttijäte joudutaan toimittamaan kaatopaikalle, jossa se käsitellään sekajätteenä ja tällöin jätemaksu on huomattavan korkea. (Korhonen 2005, 19-20.) Jos teräsverkot kuitenkin erotetaan asfalttimassasta, ja sekä asfalttimassaa että teräsverkkoa kierrätetään ja edelleen hyötykäytetään, ei Ympäristösuojeluasetuksen mukaan tarvita ympäristölupaa, jos materiaali on muuten käsitelty jätelain vaatimusten mukaisesti (Ympäristönsuojeluasetus).

Ruotsissa joissakin tapauksissa asfalttimassa verkkoineen sulatetaan ja näin erotellut massat voidaan edelleen kierrättää (Sandberg & Björnfot 2004, 84). Menetelmän kustannustehokkuudesta ei ole tietoja.

## **6.3 Työturvallisuus**

### **Kuljetukset ja siirrot**

Tietyömaalla, jossa käsitellään teräsverkkoja, tulee työturvallisuuden osalta noudattaa erityistä tarkkaavaisuutta ja varovaisuutta, että ihmisille, ajoneuvoille ja koneille ei aiheudu vahinkoja. Teräsverkkoja työmaalle vastaanotettaessa, verkkoja jaettaessa asennuspinoihin tai verkkoja tierakenteeseen asennettaessa tulee huomioida, että teräsverkkojen vapaana olevat päät eivät aiheuta vammoja työntekijöille.

### **Päällystystyöt**

Jos teräsverkko asennetaan sidottuihin kerroksiin, on etenkin asfalttia levitetäessä ja tiivistettäessä seurattava tarkasti teräsverkon käyttäytymistä. Lisäksi valssijyrän vierellä kulkevan työntekijän on pidettävä riittävä turvaetäisyys jyrään siltä varalta, että teräsverkko tarttuu jyrään ja kiertyy valssin ympärille. Jos verkko on asennettu sidottujen kerrosten väliin, tulee työssä

huomioida lisäksi se, että kuumalla ilmalla verkko voi myös nousta asfaltin pintaan ja aiheuttaa turvallisuusongelmia etenkin ajoneuvoille. Sama ongelma voi ilmetä, jos ajoneuvojen nopeus on liian suuri. (Heikkinen 1993, 15.) Päällistyön jälkeen ilmoitetaan verkkojen alku- ja loppupisteiden tarkka sijainti tierekisteriin kirjausta varten.

### Uudelleenpäällistys

Teräsverkollisia asfalttikerroksia voidaan uudelleen päällystettäessä jyrsiä, kun noudatetaan varovaisuutta ja tarkkuutta työnteossa. Työtä aloitettaessa tulee tierekisteritietojen ja näytteiden avulla selvittää teräsverkollisten osuuk-sien alku- ja loppupisteet. Jyrsinnän edetessä on koko ajan seurattava mahdollista teräsverkon sijainnin muuttumista. Jos teräsverkko pääsee tarttumaan jyrsintäkoneeseen, voi verkko heilahtaessaan vahingoittaa lähellä olevaa työntekijää (Lainapelto et al. 2007, 17). Työn jälkeen varmistetaan, että tierekisteriin tulee oikeat tiedot teräsverkkojen sijainnista.

### Liikenteen ohjaus

Liikenteen ohjauksessa noudatetaan yleisiä ohjeita ja säännöksiä liikenteen ohjauksesta työmaalla. Sekä työmaa-ajoneuvoja että muuta liikennettä opastetaan liikkumaan oikein työmaa-alueella ja verkkojen päällä, jottei vaurioita ja ongelmia tulisi. Ilman liikenteen ohjausta voi syntyä vakavia vaurioita sekä verkoille että ajoneuvoille. (Sandberg & Björnfot 2004, 77).



Kuva 18. Ohikulkevaa liikennettä tulee opastaa liikkumaan oikealla nopeudella teräsverkkojen päältä. Kuva: Sami Haapalainen.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Teräsverkkojen keskeiset käyttömahdollisuudet ja toimintaominaisuudet on tierakentamisen osalta hyvin kartoitettu. 2000-luvulla tehty laajemmat tutkimusprojektit sekä -ohjelmat ja koerakennuskohteet ovat tuottaneet lisää tietoa rakentamisesta, rakenteiden käyttäytymisestä ja joiltakin osin myös pitkäaikaiskestävyydestä. Tätä tietoa on otettu mukaan myös tierakentamisen ohjeistukseen. Kasvaneesta tietomäärästä huolimatta on paljon vielä sellaisia osa-alueita, jotka vaativat lisätutkimuksia ja teorian kehittämistä ja tarkentamista.

### *Mitoitus*

Teräsverkon tien kantavuuteen vaikuttavia mekanismeja ei vielä täysin tunneta, ja tämä on vaikuttanut etenkin tierakenteiden ja teräsverkkojen mitoitusmenetelmien kehittämiseen. Kehittämiskohteena tutkimushankkeissa on ollut mm. se, miten teräsverkko voidaan ottaa huomioon tierakenteen kuormituskestävyyssmitoituksessa. Kuitenkaan yksiselitteistä ja helppokäyttöistä mitoitushjelmaa ei ole pystytty vielä kehittämään. Mitoitusmenettelyt ovat joko maakohtaisia tai niin paljon työtä vaativia, ettei niitä käytännön suunnittelu-työssä ole mahdollista käyttää. Teräsverkolli-sen tierakenteen kantavuuden mittauksia on tehty sekä pudotuspaino- että levykuormituslaitteilla, mutta selkeää ja järjestelmällisesti esiintyvää kantavuuden lisäystä ei ole pystytty havaitsemaan. Toisaalta kuten edellä on todettu, analyyttisillä mitoitusmenetelmillä kantavuuden lisäys katsotaan olevan mahdollista mitoittaa. Tällä saralla tutkittavaa riittää. Tässä työssä kehitettiin teräsverkon mitoitusmenettelyä routavaurioiden estämiseksi. Teräsverkon mitoittaminen eri käyttötapauksissa, kuten urautuminen ja tien leventäminen, tulisi myös kehittää.

Tässä raportissa tarkemmin käsitellyssä teräsverkon routahalkeamien estämisen mitoitustaskelmissa käytetään rakennemallia, jossa tiepenger tulkitaan ulokepalkiksi. Kuormitusvaihtoehdoiksi on valittu oma paino sekä oman painon ja liikennekuorman summa. Kuormitusten valinnan osalta pitää mnettelyä vielä kehittää. Tulisiko oman painon kohdalla käyttää vain tierakenteen omaa painoa vai koko mitoitusroudansyvyvyyden mukaista pohjamaan osuutta oman painon osana vai puolta mitoitusroudansyvyvyyden tierakenteen yli menevältä osalta? Tämä taas riippuu siitä kuinka nopeasti routa saavuttaa mitoitusroudansyvyvyyden ja kuinka kauan tämä mitoitusroudansyvyvyyden osalta mitoituksellinen maksimivaihe kestää. Roudan syvyys vaihtelee vuosittain ja routa voi Tiehallinnon suunnitteluohjeen mukaisesti joinakin talvina ylittää jopa 0,5 m mitoitusroudansyvyvyyttä syvemmälle. Koska laskentavaihtoehtossa, jossa on otettu huomioon koko mitoitusroudansyvyvyyden mukainen oma paino, metrille tarvittava teräsmäärä oli pienin, voidaan tätä teräsmäärää pitää minimivaatimuksena. Tällaisen rakenteen käyttäytymistä ja kestävyvyyttä tulisi tutkia tarkemmin rakentamalla koekohteita.

Mitoitustaskelmissa ulokkeen pituuden valintaa varten tehtiin taulukko, josta kunkin normaalipoikkileikkauksen ulokkeen pituus saadaan. Taulukon arvoissa on otettu huomioon routahalkeamien muodostumistapa, mutta tätäkin pitäisi tutkia esimerkiksi koekohteiden avulla tarkemmin. Mitoitusmenettelyä tulisi kokonaisuudessaan kehittää eteenpäin sitten, kun käytännön tutkimuksissa on saatu lisätietoja. Lisäksi muita mahdollisia mitoituksessa huomioon

otettavia tekijöitä ovat mm. asfaltin vetokestävyys ja jäätyneen maan ominaisuuksien tarkempi huomioiminen.

### *Ankkuroituminen*

Tämän työn puitteissa ei ollut mahdollisuutta tarkemmin perehtyä teräsverkkojen ankkuroitumiseen tierakenteessa. Mielenkiintoista olisi erityisesti tutkia tarkemmin kaksi- ja kolmilankaverkkojen eroavaisuuksia ankkuroitumisen osalta ja edelleen näiden kahden eri verkkomallin vaikutuksia mahdolliseen kantavuuden kasvuun sekä tierakenteen latistumiseen ja väsymiseen.

### *Taloudellisuus*

Tierakenteiden parantamisen, uudelleenpäällystämisen ja uusien teiden rakentamisen yhteydessä tulisi aina huomioida toimenpiteiden kokonaistaloudellisuus. Keskeistä on tarkastella missä kohdin teräsverkkojen käyttö on kannattavaa tieomaisuuden hallinnan näkökulmasta. Tällainen näkökulma edellyttää taloudellisesti kauaskantoista toimintapolitiikkaa rahoituksen käytössä ja kohdentamisessa. Tähän liittyy myös kysymys käytössä olevien parannustoimenpiteiden kohdistusohjelmissa olevat toimenpidevaihtoehdot. Tällä hetkellä esimerkiksi PMSP-rohjelmassa ei pysty tarkastelemaan teräsverkon asentamista korjaustoimenpidevaihtoehtona. Tämä edellyttää taas sitä, että ohjelmiin sisällytetään tietoa siitä, missä teräsverkkoja sijaitsee ja miten tie käyttäytyy teräsverkon asentamiseen jälkeen.

Teräsverkot ovat osoittautuneet joissakin kohteissa investointikustannuksiltaan edullisemmiksi kuin perinteiset ratkaisut. Kevyen liikenteen väylille teräsverkon asentaminen on kannattavaa koko maassa erittäin routivilla pohjamailla. Tehtyjen rakenneratkaisujen taloudellisuus on kuitenkin aina varmistettava tapauskohtaisesti. Mitä taas tulee taloudellisuuteen ja teräsverkotyyppeihin niin, teräsverkkojen käytön taloudellisuutta tarkastellessa on hyvä huomioida myös se käytetäänkö kaksi- vai kolmilankaverkkoja, ja syntyykö toisen verkontyyppin valitsemalla kustannus- ja/tai materiaalisäästöjä verrattuna toiseen tyyppiin. Aiheesta tulisi suorittaa tarkempia laskelmia. Myös kuntorekisteritiedot olemassa olevilta ajanjaksoilta tuli analysoida kokonaisuudessaan, jotta voidaan todennukaisemmin analysoida eri tieluokkien ylläpitokustannuksia ja edelleen elinkaarikustannuksia.

Teräsverkollisten tierakenteiden liikennetaloudellisia kustannuksia tai vaikutuksia ei ole tiedossa olevien tietojen perusteella aikaisemmin tarkastelu. Toisaalta liikennetaloudellisten kustannusten tietoja tarvitaan hankkeiden hyötykustannussuhteen laskennassa. Tosin tällä hetkellä ei kaikilta osin ole käytössä pitkäaikaishavaintoihin perustuvaa analysoitua materiaalia, joiden pohjalta laskentaa olisi mahdollista suorittaa kovin tarkasti.

### *Rakentaminen*

Koska teräsverkollisia teitä on rakennettu jo pitkään ja monia koekohteita on toteutettu, ovat teräsverkkojen asentamismenetelmät kehittyneet ja siihen liittyvä tietous on lisääntynyt. Kuitenkin urakoitsijoille tulisi laajemmin tuottaa tietoa teräsverkkojen oikeista käsittely- ja asennusmenetelmistä. Teräsverk-

koja on kahdessa kohteessa kokeiltu luvussa 5 mainitulla sinkiläkiinnitysmenetelmällä. Tässä menetelmässä on erityisen tärkeää, että teräsverkot asennetaan oikein päin. Näin toimittaessa teräsverkkojen asentaminen ei vaikuta merkittävästi työhön kuluvaan aikaan. Myös teräsverkkojen sinkiläkiinnitysmenetelmän käyttöä ajokaista kerrallaan tulisi pyrkiä kokeilemaan ja kehittämään edelleen. Tällöin saavutettaisiin se etu, että toinen ajokaista voisi olla koko ajan käytössä teräsverkkojen asentamisesta huolimatta.

#### *Teräsverkkotietous*

Tie- ja katusuunnittelijoita tulisi informoida teräsverkon käytöstä rakennevaihtoehtona sekä kouluttaa heitä mitoittamaan tierakenteeseen tuleva teräsverkko. Teräsverkkojen käytön ja tierakentamisen taloudellisten ratkaisujen kannalta keskeistä on, että myös suunnittelijat ovat tietoisia eri vaihtoehtojen vaikutuksista tiehakkeiden taloudellisuuteen. Sama koskee tietysti myös muita vaihtoehtoisia tierakenteiden rakenneratkaisuja, kuten esimerkiksi masuunihiekan käyttöä alueilla joilla se on mahdollista ja kannattavaa.

#### *Suunnitteluohjeistus*

Routavaurioiden torjumiseen liittyen suunnitteluohjeita tulisi tulevaisuudessa tarkastella tarkemmin. Tällä hetkellä rakenteen mitoituksessa huomioidaan vain laskennallinen routanousu. Mitoituksen yhteydessä tulisi tarkastella myös tien reunan ja keskilinjan routanousueroa ja sen aiheuttamaa rakenteen sivukaltevuuden muutosta, koska niiden on todettu ennustavan routavaurioiden todennäköisyyttä ja pelkää routanousun arvoa paremmin.

## 8 YHTEENVETO

Tiestön ylläpidon toimenpidevaihtoehtojen jatkuva kehittäminen on tärkeää, jotta uusiutumattomia luonnonvaroja käytetään mahdollisimman tehokkaasti. Mahdollisuuksina on toteuttaa rakenteita, joilla pystytään rakentamaan ohuempia rakennekerroksia, käyttämään uusiomateriaaleja tai toteuttaa rakenteita, jotka vaativat ylläpitotoimenpiteitä harvemmin. Teräsverkko on yksi vaihtoehto tällaisten rakenteiden toteuttamiseen.

Teräsverkkoja on käytetty Suomessa tierakenteissa vahvisteena 1970-luvun lopulta lähtien. Teräsverkkojen käyttö keskittyi 1990-luvun lopulle saakka pääosin Kaakkois- ja Pohjois-Suomen maateiden routahalkeaminen korjaamiseen. Kevyen liikenteen väylillä teräsverkkoja on käytetty 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Viimeisten vuosien aikana teräsverkkojen käyttö on kuitenkin kasvanut koko maassa, koska teräsverkkojen käytöllä saavutettavat toiminnalliset ja taloudelliset hyödyt ovat tulleet selkeiksi.

Teräsverkkojen käytöllä on mahdollista vähentää tierakenteeseen syntyviä pysyviä muodonmuutoksia, sidottujen kerrosten väsymistä ja routanousueroista aiheutuvia halkeamia. Teräsverkkojen vaikutus tulee parhaiten esiin teiosilla, joissa on riittämätön kuormituskestävyys- ja routamitoitus. Teräsverkkojen käyttö em. tierakenteissa onkin osoittautunut käyttökelpoiseksi menetelmäksi pitkäntähtäimen tienpitokustannusten vähentämiseen. Teräsverkkojen käytön on todettu pidentävän tierakenteen elinikää ja toimenpidevälejä.

Teräksen käyttö lujitteena perustuu sen hyvään vetolujuuskestävyyteen ja kykyyn vastustaa rakenteisiin syntyviä pysyviä muodonmuutoksia. Teräsverkko ottaa vastaan tierakenteeseen kohdistuvia kuormia kuten roudan nostovoima ja liikennekuorma, ja siirtää niitä edelleen koko tierakenteen alueelle. Kuormituksesta syntyvien vetovoimien ja jännitysten siirtyessä teräsverkkoon pelkän tierakenteen sijaan koko tierakenteen pitkäaikaistakestävyys paranee. Teräsverkko ottaa vetoa vastaan pääasiassa verkon poikkisuuntaisia vetoelementtejä vastaa muodostuvan passiivisen maanpaineen vaikutuksesta. Passiivinen maanpaine mahdollistaa teräsverkon ja tierakennusmateriaalien riittävän ankkuroitumisen. Teräsverkon poikkittaisia lankoja vastaan kehittyy myös kantavaa maanpainetta ja näin tierakenne kestää osittain paremmin myös kantavuuteen kohdistuvia paineita.

Teräsverkoilla on hyvä korroosionkestävyys. Tosin rakennetussa ympäristössä kuten tierakenteissa korroosion nopeus on suurempi kuin luonnontilaisessa maaperässä. Sidottuun kerrokseen tulevien teräsverkkojen korroosionkestävyyttä voidaan parantaa liimaamalla teräsverkko bitumiemulsiolla päällysteeseen. Sitomattomissa kerroksissa suositeltavin vaihtoehto on kasvattaa teräksen halkaisijaa. Kaiken kaikkiaan teräsverkko kestää tierakenteessa sen suunnitellun käyttöiän ajan.

Viime vuosina uusituissa Tiehallinnon suunnitteluohjeissa on otettu huomioon myös teräsverkkojen pitkäaikaisten käyttökokemukset ja tutkimusprojektien tulokset. Vuonna 2005 voimaan tullessa Tierakenteen suunnittelu -julkaisussa on ohjeistus teräsverkkojen käytöstä uuden tierakenteen suunnittelussa. Useimmissa vaatimusluokissa teräsverkolliselle tierakenteelle sallitaan suurempi routanousu, koska teräsverkollisessa tierakenteessa routa-

nousu on tasaisempaa verkon vastaanottamien jännitysten vuoksi eikä kokemusten mukaan yhtä suuria routanousueroja pääse syntymään kuin verkottomissa rakenteissa. Ohjejulkaisussa tuodaan myös esille se, että teräsverkko on usein kevyen liikenteen väylillä taloudellisempi ratkaisu kuin routasuojaus.

Rakenteen parantamisen suunnittelu -ohjeessa teräs- tai lujiteverkkoa suositellaan yhdeksi rakennevaihtoehdoksi, mikäli vaurioiden syynä on rakeisuudeltaan heikko kantava kerros, luiskat ovat liian jyrkät ja reunakantavuus on heikko. Ensisijaisesti teräsverkkoja käytetään routanousun aiheuttamien pitkien ja leveiden halkeamien korjaamiseen. Teräs- (ja lasikuitu-) verkot hidastavat samalla kuormituksesta johtuvaa urautumista. Vaikutukset ovat suurimmat kapeilla jyrkkäluiskaisilla teillä, joiden rakenne on heikko.

Tierakentamisessa teräsverkkoina käytetään sekä varastoverkkoja että erikoisverkkoja. Tie- ja katurakenteissa käytetään pääosin kohteen mittojen mukaan tehtyjä erikoisverkkoja ja kevyen liikenteen väylillä varastoverkkoja. Kuljetuksellisista syistä mittatilausverkkojen maksimikoko on 2,5 m x 12 m. Erikoisverkkoja on saatavana sekä kaksi- että kolmilankaisena. Kolmilankaverkon etuna on teräsverkon toiminnan kannalta parempi ankkuroituvuus. Tämä johtuu kolmilankaverkon suuremmasta passiivipainetta vastaanottavasta pinta-alasta. Kolmilankaverkkoja käytettäessä voidaan myös poikittaisen lankojen väliä kasvattamalla saada aikaan säästöjä teräsmateriaalista.

Käyttötarkoitus vaikuttaa osittain teräsverkkojen sijoitusyvyyteen. Työteknisistä seikoista johtuen teräsverkkojen optimiasennussyvyys on noin 200 - 300 mm tien pinnasta. Teräsverkot tulee asentaa työteknisistä syistä vähintään 100 mm syvyyteen päällysteen pinnasta. Sorateillä puolestaan suositeltava sijoitusyvyyden on 250 – 300 mm.

Mitoitusmenettelyiden osalta tässä työssä keskityttiin teräsverkkojen käyttöön routavaurioiden estämiseksi, koska se on Suomessa teräsverkkojen yleisin käyttökohde. Teräsverkon mitoittaminen eri käyttötapauksissa vaatii erilaisia mitoitusmenetelmiä. Teräsverkon rakenteelliselle mitoitukselle ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä laskentamallia ja mitoitus on pääosin ohjeistettu vuosien mittaan kertyneiden maastohavaintojen perustella. Viimeaikaisissa tutkimusprojekteissa (Reflex, Lupav2) on myös annettu omia suosituksia teräsverkkojen mitoittamisesta.

Tässä raportissa esitetyssä mitoitusmenettelyssä tierakenne on mallinnettu ulokepalkiksi. Ulokepalkin pituus valitaan normaalipoikkileikkauksen perusteella. Tätä varten on tehty erillinen taulukko ja näissä ulokepalkin pituuden arvoissa on otettu huomioon routahalkeamien muodostumistapa. Mitoituslaskelmat tehtiin tierakenteen omalle painolle (kuormitustapaus 1) ja tierakenteen oman painon ja liikennekuorman yhdistelmälle (kuormitustapaus 2). Lisäksi molemmissa kuormitustapauksissa oli alavaihtoehtoina tapaukset, joissa tierakenteen omaan painoon laskettiin joko tien rakennekerrokset tai rakennekerrokset ja mitoitusroudansyvyyden mukainen osuus pohjamaata.

Kuormitusvaihtoehdossa 1b, jossa tierakenteen omaan painoon on laskettu yllä mainittu mitoitusroudansyvyyden mukainen rakenne, ovat saadut teräsmäärät oletetusti hieman pienempiä kuin kuormitusvaihtoehdossa 1a olevan pelkän rakennekerrosten mukaisen oman painon kohdalla. Kuormitustapauksessa 2a, jossa rakennekerrosten oman painon lisäksi on mukana



myös liikennekuorma, ovat saadut teräsmäärät selkeästi suurempia kuin muissa vaihtoehtoissa. Kuormitusvaihtoehdon 2b (mitoitusroudansyvyyden mukaisen rakenteen oma paino ja liikennekuorma) kohdalla saadut tulokset ovat pääosin samansuuntaisia aikaisemmin esitettyjen ja kokemuseräisten havaintojen kanssa. Yleisesti ottaen laskelmissa saadut erot olivat sitä suurempi, mitä leveämmästä normaalipoikkileikkauksesta oli kysymys. Kevyen liikenteen väylillä kapeammilla poikkileikkauksilla riittäisi ohjeistusta selkeästi pienempi teräsmäärä, mutta alle 5 mm teräsverkkoja ei käytetä, koska niiden käsittely on hankalaa ja ne vaurioituvat helposti.

Tarkan suunnittelun ohella tärkeää on teräsverkkojen huolellinen käsittely ja varsinaisten tierakenteiden toteutus. Keskeisiä huomioon otettavia seikkoja ovat teräsverkkojen kuljetus ja varastointi sekä oikea asennustapa. Lisäksi työmaalla tulee kiinnittää huomiota työtapoihin ja -turvallisuuteen, koska teräsverkkojen asentaminen on vielä tällä hetkellä käsityötä. Työn laadunvalvonta tulee myös nähdä rakentamisen tärkeänä osana. Tietyömaalla, jossa asennetaan teräsverkkoja, tulee noudattaa erityistä varovaisuutta. Liikenteen ohjaukseen tulee myös panostaa. Sekä työmaa-ajoneuvoja että autoilijoita opastetaan ajamaan oikein työmaa-alueella ja verkkojen päällä, jottei vaurioita ja ongelmia tulisi. Jos liikenteen ohjausta ei ole järjestetty, voi syntyä vakavia vaurioita sekä verkoille että ajoneuvoille.

Teräsverkot voidaan asentaa sekä sidottuihin että sitomattomiin kerroksiin. Sitomattomiin kerroksiin teräsverkkoja asennettaessa asennusalueen tulee aina olla riittävän tasainen, mittavaatimuksia tasaisuuden suhteen ei kuitenkaan ole. Verkot asetetaan vierä viereen puskusaumaan ilman limitystä siten, että tien leveyssuuntaiset päälangat tulevat alapuolelle ja sidontalangat yläpuolelle. Teräsverkot peitetään välittömästi asentamisen jälkeen, jotta suora liikennekuormitus jää mahdollisimman vähäiseksi. Teräsverkkojen asentamista sidottuihin kerroksiin koskevat samat perussäännöt. Työkoneiden liikumista teräsverkkojen päällä tulee minimoida. Työkoneiden tulee liikkua hitaasti, jotta teräsverkot eivät kohoa tai liu'u, mikä haittaa työn toteutusta myöhemmissä työvaiheissa.

Tierakenne, jossa on jo teräsverkkoja asennettuna päällysteeseen, voidaan päällystää uudelleen. Työ vaatii työntekijöiltä erityistä tarkkuutta ja teräsverkon mahdollista sijainnin muuttumista on seurattava koko ajan. Jos työtä ei tehdä riittävän huolellisesti, voi teräsverkko mm. tarttua jyräintäkoneeseen.

Teräsverkkojen käyttöön ja mitoitukseen liittyen löytyy useita tutkimus- ja kehittämiskohteita. Teräsverkkojen mitoitus eri käyttötarkoituksissa tulisi edelleen tutkia ja kehittää. Tällaisia ovat mm. urautuminen ja teiden leventtäminen. Myös tässä työssä esille tuodun mitoitusmenetelmän kehittäminen edelleen on tarpeellista. Lisäksi mitoitusmenetelmien käyttäjäystävällisyys tulisi muistaa. Muita tutkimusta vaativia aihealueita ovat teräsverkkojen ankuroituminen tierakenteissa, myös eri verkkotyypeillä. Lisäksi tulisi toteuttaa teräsverkollisten ja -verkkottomien tieosuuksien kuntorekisteritietojen analysointi ja vertailu sekä tätä kautta mahdolliseksi tulevat, muiden ylläpitomenetelmien kanssa tarkemmat yhteismitalliset taloudellisuustarkastelut.

Vaihtoehtoisista materiaali-, rakentamis- ja ylläpitomenetelmistä, kuten teräsverkoista tulisi levittää tietoutta, jotta tiepidossa toteutuisi parhaalla mahdollisella tavalla taloudellisuus ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö. Näin tienpidon yleinen ympäristöystävällisyys kehittyisi edelleen.

## 9 LÄHTEET

### Kirjallisuus

Aalto, Asko & Slunga, Eero & Tanska, Harri & Forsman, Juha & Lahtinen, Pentti. 1998. *Synteettiset geovahvisteet. Suunnittelu ja rakentaminen*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Aho, Saara & Saarenketo, Timo & Kolisoja, Pauli. 2005. Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen. *Tiehallinnon selvityksiä 64/2005*. Helsinki: Tiehallinto.

Belt, Jouko & Lämsä, Veli Pekka & Savolainen, Mika & Ehrola, Esko. 2002. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. *Tiehallinnon selvityksiä 15/2002*. Helsinki: Tiehallinto.

Bengtsson, Per-Evert & Bergdahl, Ulf & Camitz, Goran & Vinka, tor-Gunnar. 2002. Statens Järnvägars undersökning av corrosion på stålplåtar i jord – Statistisk bearbetning. *Pålkommisionen information 2002:1*. Linköping: Pålkommisionen.

Bianco, Loris & Ceschia, Carlo & Russiani, Marco. 2002. Economical and environmental aspects. *REFLEX Final Report T8:02*.

Ehrola, Esko. 1996. *Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Forsman, Juha. 2001. Geovahvistetutkimus. Koerakenteiden loppuraportti 1996-2001. *Tiehallinnon selvityksiä 75/2001*. Helsinki: Tiehallinto.

Gustafsson, Kent & Said, Safwat & Zarghampour, Hamid & Sandberg, Jan & Salmenkaita, Seppo & Russwurn, Dieter & Bianco, Loris & Ceschia, Carlo & Lechner, Barnhard & Russiani, Marco. 2002. Reinforcement of Flexible road Structures wiht Steel Fabrics to Prolong Service Life. Guidelines. *Reflex Report T9:02*. Swedish National Road and Transport Research Institute.

Heikkinen, Martti. 1991. Teräsverkkojen asentaminen. käytännön ohjeita. *Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 13/1991*. Oulu: Tielaitos.

Heikkinen, Martti. 1993. V-poikkileikkaus ja teräsverkot tierakenteissa. Tulokset V-poikkileikkauksen ja teräsverkkojen käyttökohteista tien pituussuuntaisten halkeamien ehkäisyssä. *Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 32/1993*. Oulu: Tielaitos.

Honkala, Anssi. 2003. Geovahvisteiden toiminta harvennetun syvästabiloinnin varaisessa tiepenkereessä. *Tiehallinnon selvityksiä 32/2003*. Helsinki: Tiehallinto.

Järvinen, Seppo. 2003. Teräsverkon vaikutus tien kuntoon. *Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 27/2003*. Helsinki: Tiehallinto.

*InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2006. Osa 1, Väylät ja alueet*. Helsinki:Rakennustieto

Kallio, Vesa. 2000. Pyöräteiden routavauriotutkimus. *Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 10/2000*. Helsinki: Tielaitos.

Kivikoski, Harri & Pihlajamäki, Jari & Tammirinne, Markku. 2002. TPPT – koerakenteiden yhteenvetoraportti. *Tiehallinnon selvityksiä 8/2002*. Helsinki: Tiehallinto.

Korkiala-Tanttu, Leena & Kivikoski, Harri & Rathmayer, Hans & Törnqvist, Jouko. 2003. Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa STEELSYNT. *Tiehallinnon selvityksiä 23/2003*. Helsinki: Tiehallinto.

Korkiala-Tanttu, Leena & Laaksonen, Rainer & Törnqvist, Jouko. 2003. Jyrkkäluiskaisen tien reunan vahvistaminen. *Tiehallinnon selvityksiä 37/2003*. Helsinki: Tiehallinto.

Korkiala-Tanttu, Leena & Törnqvist, Jouko & Eskola, Paula & Pienimäki, Markku & Spoof, Harri & Mroueh, Ulla-Maija. 2005. Elinkaaritarkastelut tiepidon hankintoihin. Kokemuksia kahdesta pilot-kohteesta. *Tiehallinnon selvityksiä 13/2005*. Helsinki: Tiehallinto.

Korhonen, Mikko. 2005. Purkumateriaalien käsittely siltojen korjauksessa ja tienrakentamisessa. *Tiehallinnon selvityksiä 31/2005*. Helsinki: Tiehallinto.

Lämsä, Veli Pekka & Belt, Jouko. 2005. Heikkokuntoisen päällystetyn alemman tieverkon ylläpito –loppuraportti. *Tiehallinnon selvityksiä 45/2005*. Helsinki: Tiehallinto.

Murto, Risto & Kalliokoski, Ari & Litmanen, Juha. 2005. Hoidon ja ylläpidon vaikutukset. *Tiehallinnon selvityksiä 19/2005*. Helsinki: Tiehallinto.

Mäkelä, Erkki. 1998. Tiepenkereiden vetolujitteiden toiminta käyttötilassa. *Tielaitoksen selvityksiä 47/1998*. Helsinki: Tielaitos.

Pienpaalutusohje PPO-2007. Teräksiset lyönti-, pora- ja puristuspaalut. *RIL 230-2007*. 2007. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

*Päällysteiden suunnittelu*. 1997. Helsinki: Tielaitos.

*Rakenteen parantamisen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus*. 2005. Helsinki: Tiehallinto.

Ristikartano, Jukka & Lampinen, Seppo & Saarlo, Anna, Männistö, Vesa & Horppila, Hanna. 2004. Ajokustannusten käyttö toimintasuunnitelmissa. *Tiehallinnon selvityksiä 38/2004*. Helsinki: Tiehallinto.

Said, Safwat F. & Johansson, Svante & Bianco, Loris. 2001. Performance on Existing Reinforced Roads. *Reflex Report T5:02*. Swedish National Road and Transport Research Institute.

Said, Safwat F. & Johansson, Svante & Salmenkaita, Seppo & Bianco, Loris. 2000. Performance on Existing Reinforced Roads. *Reflex Report T5:01*. Swedish National Road and Transport Research Institute.

SFS-EN 1993-5. 2007. Eurocode 3. Design on Steel Structures, Part 5: Piling.

SFS 1257. Betoniteräksset. Kylmämuokattu harjatanko B500K. 1996

SFS 1269. Betoniteräksset. Kylmämuokattu harjatanko B700K. 1998.

Sandberg, Jan & Björnfot, Per. 2004. *Spikfri och bärig väg med stålarmring*. Vägverket.

*Siltojen kuormat*. 1999. Helsinki: Tielaitos.

Sorasteiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti V. Koerakenteiden seurantamittaukset. *Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 56 / 1994*. Kuopio: Tielaitos.

Soveri, Jouko & Varjo, Markku. 1977. Roudan muodostumisesta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1955-1975. *Vesitutkimuslaitoksen julkaisuja 20*. Helsinki: Vesihallitus.

Tammirinne, Markku. 2002. Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus. Suunnittelujärjestelmän kuvaus. *Tiehallinnon selvityksiä 7/2002*. Helsinki: Tiehallinto.

*Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet. Suunnitteluvaiheen ohjaus*. 2001. Helsinki: Tiehallinto.

*Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005. Suunnitteluvaiheen ohjaus*. Helsinki: Tiehallinto

*Tien perustamistavan valinta*. 2003. Helsinki: Tiehallinto.

*Tierakenteen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus*. 2004. Helsinki: Tiehallinto.

Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi. S12 Pääteiden parantamisratkaisut. *Tielaitoksen selvityksiä 14/2000*. Helsinki: Tielaitos.

Törnqvist, Jouko. 2004. *Teräsputkipaalujen korroosio. Mitoitus empiirisen aineiston pohjautuen*. Espoo: VTT Rakennus ja yhdyskuntatekniikka.

Törnqvist, Jouko & Juvankoski, Markku. 2003. KT51 Kirkkonummen syvä- ja massastabiloitu koerakenne. *Tiehallinnon selvityksiä 29/2003*. Helsinki: Tiehallinto.

Uotinen, Veli-Matti: 1996. Geovahvisteet tiepenkereen levittämisessä pehmeiköllä. *Tielaitoksen selvityksiä 20/1996*. Helsinki: Tielaitos.

Vuoriainen, Timo & Helenius, Markku & Heikkilä, Johanna & Olkkonen, Seppo. 2000. Jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden kaatumistapaturmat, Espoo, Helsinki, Jyväskylä, Oulu. *Tielaitoksen selvityksiä 48/2000*. Helsinki: Tiehallinto.

Ympäristönsuojeluasetus. 18.2.2000/169

## Sähköiset lähteet

Ahonen, Mika & Holappa, Teuvo & Huttunen, Eero & Kivikoski, Harri. 2001. *Pt 18629 Temmes. Kohderaportti*. Tien- pohja- ja päällysterakenteet-tutkimusohjelma.  
<<http://alk.tiehallinto.fi/tppt/kohderaportit/38-pt18629temmes.pdf>>.

Alkio, Risto & Pihlajamäki, Jari & Pienimäki, Markku. 2002. *Kehä III. Kohderaportti*. Tien- pohja- ja päällysterakenteet –tutkimusohjelma.  
<<http://alk.tiehallinto.fi/tppt/kohderaportit/25-keha3raportti02.pdf>>.

*Kevyen liikenteen suunnittelu*. 1998. Helsinki: Tielaitos  
<<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/kevliisu.pdf>>

Lahtinen, Pentti & Ahlqvist, Elina. 2005. *Fosfokipsistabilointi, S14*.  
<[http://alk.tiehallinto.fi/s14/docs/loppuraportti\\_fosfokipsistabilointi.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/s14/docs/loppuraportti_fosfokipsistabilointi.pdf)>.

Lahtinen, Pentti & Jyrävä, Harri. 2006. *Vahvisterakenteet, Kiuruvesi, S 14*. Loppuraportti, Ramboll finland Oy.  
<[http://alk.tiehallinto.fi/s14/docs/loppuraportti\\_vahvisterakenteet.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/s14/docs/loppuraportti_vahvisterakenteet.pdf)>.

Lampinen, Anssi. 2004. Tien pituussuuntaisen epätasaisuuden vaikutus ajoneuvojen vierintävastukseen ja polttoaineenkulutukseen. *Tiehallinnon selvityksiä 44/2004*. Helsinki: Tiehallinto.  
<[http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit\\_julkaisut/Tien\\_pituussuunt\\_epatas\\_vaikutus.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit_julkaisut/Tien_pituussuunt_epatas_vaikutus.pdf)>

Petäjä, Sami & Spoof, Harri. 2001. *Päällysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi TPPT 20*. Tie- ja pohjarakenteiden tutkimusohjelma 1994-2001. VTT (julkaisematon).  
<<http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/20-elinkaarikustannusanalyysi.pdf>>

Peltola, Harri & Wuolijoki, Arja. 2003. Tienpidon toimien turvallisuusvaikutukset. *Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 35/2003*. Helsinki: Tiehallinto.  
<<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/4000390.pdf>>.

Rathmayer, Hans & Juvankoski, Markku & Törnqvist, Jouko & Korkiala-Tanttu, Leena. 2006. LUPAV2, Tie- ja katurakenteiden elinkaaren pidentämisen lujitteiden avulla.  
[http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster6\\_rakentaminen\\_yhdyskuntatekniikka/LUPAV\\_Raportti\\_hgr\\_viimeist.pdf](http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster6_rakentaminen_yhdyskuntatekniikka/LUPAV_Raportti_hgr_viimeist.pdf)

Ristikartano, Jukka & Lampinen, Seppo, Saarlo, Anna & Männistö, Vesa & Kalliokoski, Ari. Ajokustannuslaskelmien käytön tehostaminen. *Tiehallinnon selvityksiä 31/2003*. Helsinki: Tiehallinto.  
<<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200819vajokustkaytontehost.pdf>>

Ristikartano, Jukka & Räisänen, Jukka & Kallberg, Veli-Pekka, Penttinen Mira-Maria. Ajokustannusten kuntoriippuvuuksia täydentäviä selvityksiä. *Tiehallinnon selvityksiä 25/2006*. Helsinki: Tiehallinto.  
<[http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit\\_julkaisut/raportti\\_ajokust\\_kuntoriippuv.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit_julkaisut/raportti_ajokust_kuntoriippuv.pdf)>

Ristikartano, Jukka & Spoof, Harri & Räsänen, Jukka & Malmivuo, Mikko. 2005. Ajokustannusten kuntoriippuvuus päällystetyillä teillä ja sorateilla. *Tiehallinnon selvityksiä 53/2005*. Helsinki: Tiehallinto.

<[http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit\\_julkaisut/julkaisu\\_Ajokustannusten\\_kuntoriippuvuus.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit_julkaisut/julkaisu_Ajokustannusten_kuntoriippuvuus.pdf)>

Saarelainen, Seppo & Halonen, Pekka. 2005. *Raudoitetun murskekerroksen pitkäaikaistoiminta. Seurantatutkimus mt 5341 Leppävirralla 2005*. Helsinki: Tiehallinto.

<[http://alk.tiehallinto.fi/s14/docs/loppuraportti\\_raudoitetun\\_murskekn\\_pitkaikaistoiminta.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/s14/docs/loppuraportti_raudoitetun_murskekn_pitkaikaistoiminta.pdf)>.

Saarelainen, Seppo. 2001. *Tierakenteen routamitoitus, menetelmäkuvaus TPPT 18*. Tien pohja ja päällysrakenteet – tutkimusohjelma 1994-2001. VTT & Tiehallinto. (julkaisematon)

<<http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/18-routamitoitus.pdf>>

Tien päällysteen epätasaisuuden vaikutus ajoneuvojen vierintävastukseen ja ajoneuvokustannuksiin. 2005. *Tiehallinnon selvityksiä 27/2005*. Helsinki: Tiehallinto.

<[http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit\\_julkaisut/julkaisu\\_tien\\_paallysteen\\_epatasaisuuden\\_vaikutus.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/voh/Projektit_julkaisut/julkaisu_tien_paallysteen_epatasaisuuden_vaikutus.pdf)>

### **Painamattomat lähteet**

Höynälä, Harri & Mäkelä Harri. 2004. Teräsverkkojen käyttö lujitteina tie- ja katurakenteissa. 1999. Tammet Oy:n tuottama julkaisu.

Jyrävä, Harri & Haavikko, Heikki. 1999. Soratien parantaminen. Koerakentaminen, pt 16569, Jämsä. Viatek Oy / SGT.

Lainapelto, Vesa & Harju, Mervi & Ihalainen, Petri & Forsman, Juha. 2007. KOPLER-projektin markkinaselvitys, teräsverkot päällysrakenteissa. Ramboll Finland Oy:n raportti Tammet Oy:lle

Leislahti, Ari. 2004. Teräsverkkojen käyttö katu- ja pyörätierakenteissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.

Luomala, Heikki. 2005 Kolmilankaisten teräsverkkojen vetokokeet. Pohja- ja maarakenteiden laboratorio, Tampereen teknillinen yliopisto.

Väisänen, Jouni. 2001. Geovahvisteet asfalttipäällysteiden heijastushalkeamien estämisessä. Diplomityö. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, Teknillinen korkeakoulu.

### **Puhelinhaastattelu**

Olli Heinilä, NCC Roads Oy. 4.4.2007

### **Tiedonanto**

Ari Krook, Tammet Oy. 10.4.2007

## 10 LIITTEET

### LIITE 1:

Teräsverkkojen käyttö maanteilla ja kevyen liikenteen väylillä tierekisterin mukaan.

### LIITE 2:

Teräverkkojen esimerkkilaskentojen mitoituksen lähtötiedot ja rakennemalli.

### LIITE 3:

Esimerkkilaskelma poikkileikkaukselle IIIN-7/6

**LIITE 1: Teräsverkkojen käyttö maanteilla ja kevyen liikenteen väylillä tierekisterin mukaan.**

**LIITE 1/1: Tiepiireissä vuosina 1994-2006 asennetut teräsverkot**

<b>Tiepiiri</b>	<b>Uusimaa</b>	<b>Turku</b>	<b>Kaakkois-Suomi</b>	<b>Häme</b>	<b>Savo-Karjala</b>	<b>Keski-Suomi</b>	<b>Vaasa</b>	<b>Oulu</b>	<b>Lappi</b>	<b>Yhteensä (km)</b>
<b>1994</b>	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	<b>0,3</b>
<b>1995</b>	0	0	0,1	0	0,4	0	0	0	0	<b>0,4</b>
<b>1996</b>	0	0	0,6	0	0	0	10,3	0	0	<b>10,9</b>
<b>1997</b>	0	0	7	0	0,5	0	3	0	0	<b>10,4</b>
<b>1998</b>	0	0	6,2	0	0,4	0	0	0,1	0	<b>6,6</b>
<b>1999</b>	0	0	6,2	0	0,2	6,1	3,1	0	0	<b>15,6</b>
<b>2000</b>	0	0	0,7	0	0	2,6	0,3	2,8	12,7	<b>19</b>
<b>2001</b>	0	0	1,6	3,1	0	1,1	0	0,5	3,1	<b>9,5</b>
<b>2002</b>	0	0	3,6	18,1	4,8	1,4	0,9	2,9	18	<b>49,6</b>
<b>2003</b>	0,1	10,3	2	4,8	28,6	1	0,3	12,2	40,4	<b>99,6</b>
<b>2004</b>	49,3	5,7	14	2	33,1	2,9	0	3,6	24,6	<b>135,2</b>
<b>2005</b>	3,7	12	4,1	1,7	37,6	0,6	7	206,7	1,7	<b>275,3</b>
<b>2006</b>	1,9	3,1	3,1	4,4	30,2	1,2	1,4	34,2	20,2	<b>99,7</b>



## LIITE 1/2: Vuosina 1994-2006 eri tiettyypeille asennetut teräsverkot.

Uusimaa	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Yhteensä (km)
1994	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0,0	0,0
1996	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0,1	0,08
2004	0	0	0	49,3	49,3
2005	0	0	0	3,7	3,7
2006	0	0	0	1,9	1,9
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>55,1</b>	<b>55,1</b>

Turku	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Yhteensä (km)
1994	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0
2003	0	0	10,3	0	10,3
2004	0	0,3	0,3	5,1	5,7
2005	0	0,2	0,1	11,7	12,0
2006	0	0,5	0,3	2,3	3,1
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>0</b>	<b>1,0</b>	<b>11,1</b>	<b>19,1</b>	<b>31,1</b>

Kaakkois-Suomi	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Yhteensä (km)
1994	0,1	0	0,3	0,0	0,3
1995	0	0	0	0,1	0,1
1996	0	0	0,3	0,3	0,6
1997	1,4	2,4	0,1	3,1	7,0
1998	0,1	2,0	0,9	3,2	6,2
1999	0	0	2,0	4,2	6,2
2000	0	0	0	0,7	0,7
2001	0	1,0	0,1	0,5	1,6
2002	0	0	0,8	2,8	3,6
2003	0	0	0,1	1,9	2,0
2004	0,03	0,2	1,6	12,2	14,0
2005	0	0	2,4	1,8	4,1
2006	0	0,2	0,3	2,7	3,1
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>1,6</b>	<b>5,9</b>	<b>8,7</b>	<b>33,4</b>	<b>49,6</b>

Häme	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Yhteensä (km)
1994	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0
2001	0	0	2,6	0,5	3,1
2002	0	0	7,7	10,4	18,1
2003	0	0	1,6	3,2	4,8
2004		1,0	0,7	0,3	2,0
2005	0	0	0	1,7	1,7
2006	0	0	0,1	4,2	4,4
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>0</b>	<b>1,0</b>	<b>12,7</b>	<b>20,3</b>	<b>34,0</b>

Keski-Suomi	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Yhteensä (km)
1994	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	6,1	6,1
2000	0,1	0	0	2,5	2,6
2001	0	0,6	0	0	1,1
2002	0	0,1	0	1,3	1,4
2003	0,7	0,3	0	0	1,0
2004	1,1	0	0	1,9	2,9
2005	0	0,6	0	0	0,6
2006	0	0	0,8	0,4	1,2
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>	<b>0,8</b>	<b>12,7</b>	<b>16,7</b>

Savo-Karjala	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Yhteensä (km)
1994	0	0	0	0	0
1995	0,4	0	0	0	0,4
1996	0	0	0	0	0
1997	0	0	0,5	0	0,5
1998	0	0	0	0,4	0,4
1999	0,2	0	0	0	0,2
2000	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0,0
2002	1,0	0	3,6	0,2	4,8
2003	2,2	11,8	7,3	7,3	28,6
2004	0	9,3	2,9	20,9	33,1
2005	1,2	1,6	10,3	24,5	37,6
2006	1,3	1,3	12,3	15,3	30,2
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>6,2</b>	<b>24,1</b>	<b>36,8</b>	<b>68,5</b>	<b>135,6</b>

<b>Vaasa</b>	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	<b>Yhteensä (km)</b>
1994	0	0	0	0	<b>0</b>
1995	0	0	0	0	<b>0</b>
1996	10,3	0	0	0	<b>10,3</b>
1997	3,0	0	0	0	<b>3,0</b>
1998	0	0	0	0	<b>0</b>
1999	0	3,1	0	0	<b>3,1</b>
2000	0,3	0	0	0	<b>0,3</b>
2001	0	0	0	0	<b>0</b>
2002	0	0,9	0	0	<b>0,9</b>
2003	0	0,25	0	0	<b>0,3</b>
2004	0	0	0	0	<b>0</b>
2005	0	5,6	1,5	0	<b>7,0</b>
2006	0	0	0	1,4	<b>1,4</b>
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>13,6</b>	<b>9,8</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>26,2</b>

<b>Oulu</b>	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	<b>Yhteensä (km)</b>
1994	0	0	0	0	<b>0</b>
1995	0	0	0	0	<b>0</b>
1996	0	0	0	0	<b>0</b>
1997	0	0	0	0	<b>0</b>
1998	0	0	0,1	0	<b>0,1</b>
1999	0	0	0	0	<b>0</b>
2000	1,5	0,1	0,9	0,3	<b>2,8</b>
2001	0	0	0,5	0	<b>0,5</b>
2002	0	1,7	0,5	0,7	<b>2,9</b>
2003	0	0,8	11,1	0,3	<b>12,2</b>
2004	0	0,7	0,5	2,3	<b>3,6</b>
2005	57,8	24,1	64,1	60,8	<b>206,7</b>
2006	4,0	0	29,2	1,0	<b>34,2</b>
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>63,3</b>	<b>27,4</b>	<b>107,0</b>	<b>65,4</b>	<b>263,1</b>

<b>Lappi</b>	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	<b>Yhteensä (km)</b>
1994	0	0	0	0	<b>0</b>
1995	0	0	0	0	<b>0</b>
1996	0	0	0	0	<b>0</b>
1997	0	0	0	0	<b>0</b>
1998	0	0	0	0	<b>0</b>
1999	0	0	0	0	<b>0</b>
2000	7,0	4,0	0	1,6	<b>12,7</b>
2001	0	1,1	1,2	0,8	<b>3,1</b>
2002	5,5	5,4	7,0	0	<b>18,0</b>
2003	11,6	0,3	10,5	18,0	<b>40,4</b>
2004	7,9	3,4	8,8	4,5	<b>24,6</b>
2005	0,1	0,4	1,2	0	<b>1,7</b>
2006	2,9	0,3	16,5	0,6	<b>20,2</b>
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>35,0</b>	<b>14,8</b>	<b>45,3</b>	<b>25,6</b>	<b>120,7</b>

<b>Kaikki tiepiirit</b>	<b>Valtatie</b>	<b>Kantatie</b>	<b>Seututie</b>	<b>Yhdystie</b>	<b>Yhteensä (km)</b>
1994	0,1	0,0	0,3	0,0	<b>0,3</b>
1995	0,4	0,0	0,0	0,1	<b>0,4</b>
1996	10,3	0,0	0,3	0,3	<b>10,9</b>
1997	4,4	2,4	0,5	3,1	<b>10,4</b>
1998	0,1	2,0	1,0	3,5	<b>6,6</b>
1999	0,2	3,1	2,0	10,4	<b>15,6</b>
2000	8,9	4,1	0,9	5,1	<b>19,0</b>
2001	0,0	2,8	4,4	2,3	<b>9,5</b>
2002	6,5	8,1	19,7	15,3	<b>49,6</b>
2003	14,5	13,4	40,9	30,7	<b>99,6</b>
2004	9,0	14,9	14,8	96,5	<b>135,2</b>
2005	59,0	32,5	79,5	104,3	<b>275,3</b>
2006	8,3	2,2	59,5	29,8	<b>99,7</b>
<b>Yhteensä (km)</b>	<b>121,5</b>	<b>85,5</b>	<b>223,9</b>	<b>301,3</b>	<b>732,1</b>

LIITE 1/3: Asennetut teräsverkot päällystetyypeittäin ja päällystetyyppien prosenttiosuudet asennetuista teräsverkoista.

Tiepiiri	Uusimaa	Turku	Kaakkois-Suomi	Häme	Savo-Karjala	Keski-Suomi	Vaasa	Oulu	Lappi	Yhteensä
<b>Asennettua teräsverkkoa (km)</b>	55,1	31,1	49,6	34	135,9	16,7	26,2	263,1	120,4	<b>732,1</b>
<b>Asfalttibetoni (km)</b>	5,2	23,9	8,5	1,7	27,2	7,1	22,4	92,8	38,7	<b>227,5</b>
<b>Määrästä % teräsverkkoja</b>	9,3	71	17,2	5	20	34,6	85,5	35,3	32,2	<b>31,1</b>
<b>Pehmeä asfalttobetoni (km)</b>	50,5	7,2	41	31,9	107,7	9,6	3,8	169,9	81,4	<b>503</b>
<b>Määrästä % teräsverkkoja</b>	90,7	29	82,8	93,7	79,2	65,5	14,5	64,6	67,7	<b>68,7</b>
<b>Soratien pinta- taus (km)</b>	0	0	0	0,4	0	0	0	0,03	0,04	<b>0,47</b>
<b>Määrästä % teräsverkkoja</b>	0	0	0	1,3	0	0	0	0	0	<b>0,1</b>
<b>Sorakulutus- kerros (km)</b>	0	0	0	0	1,1	0	0	0,3	0,17	<b>1,57</b>
<b>Määrästä % teräsverkkoja</b>	0	0	0	0	0,8	0	0	0,1	0,1	<b>0,2</b>

LIITE 1/4: Vuosina 1994 -2006 asennetut teräsverkot päällystetyypeittäin ja tieluokittain eri tiepiireissä

<b>Uusimaa</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	0	0	0	55,1	55,1
Tieverkkoa (km)	533	214	737	3165	4649
% asennetuista teräsverkoista	0	0	0	1,7	1,2
Asfalttibetoni (km)	0	0	0	5,2	5,2
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	9,4	9,4
Pehmeä asfalttibetoni (km)	0	0	0	50,5	50,5
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	90,6	90,6
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,0	0,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,0	0,0
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	0,0	0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0	0

<b>Turku</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	0	1,0	11,1	19	33,7
Tieverkkoa (km)	717	345	999	5941	8002
% asennetuista teräsverkoista	0,0	3,2	1,9	0,3	
Asfalttibetoni (km)	0	1,0	10,9	12,0	23,9
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	100,0	99,0	63,4	71,0
Pehmeä asfalttibetoni (km)	0	0	0,1	7,0	7,2
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	1,0	36,6	29,0
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,0	0,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,0	0,0
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	0,0	0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0	0

<b>Kaakkois-Suomi</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	1,6	5,9	8,7	33,4	49,6
Tieverkkoa (km)	1095	298	1483	6116	8992
% asennetuista teräsverkoista	0,1	2,0	0,6	0,5	0,6
Asfalttibetoni (km)	1,6	2,4	2,1	2,4	8,5
% tiepiirin as. teräsverkoista	100,0	41,4	24,6	7,2	17,2
Pehmeä asfalttibetoni (km)	0	3,4	6,6	31,0	41,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0,0	58,6	75,4	92,8	82,8
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,0	0,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,0	0,0
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	0,0	0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0	0

<b>Häme</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	0	1,0	12,7	20,3	34,1
Tieverkkoa (km)	1071	487	1438	6514	9510
% asennetuista teräsverkoista	0,0	0,2	0,9	0,3	0,4
Asfalttobetoni (km)	0	1,0	0,1	0,6	1,7
% tiepiirin as. teräsverkoista	0,0	100,0	0,6	2,9	5,0
Pehmeä asfalttobetoni (km)	0	0	12,7	19,3	31,9
% tiepiirin as. teräsverkoista	0,0	0,0	99,4	94,9	93,7
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,4	0,4
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	2,2	1,3
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	0,0	0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0	0

<b>Savo-Karjala</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	6,2	24,1	36,9	68,7	135,9
Tieverkkoa (km)	782	695	2056	7573	11106
% asennetuista teräsverkoista	0,8	3,5	1,8	0,9	1,2
Asfalttobetoni (km)	6,2	10,4	7,3	3,2	27,2
% tiepiirin as. teräsverkoista	100,0	43,3	19,8	4,7	20,0
Pehmeä asfalttobetoni (km)	0	13,7	29,6	64,5	107,7
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	56,7	80,2	93,7	79,3
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,0	0,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,0	0,0
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	1,1	1,1
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	1,5	0,8

<b>Keski-Suomi</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	3,5	4,4	2,9	9,7	16,7
Tieverkkoa (km)	688	348	860	3410	5306
% asennetuista teräsverkoista	0,5	1,3	0,3	0,3	0,3
Asfalttobetoni (km)	3,5	0	1,2	2,4	7,1
% tiepiirin as. teräsverkoista	100,0	0,0	40,4	24,8	42,4
Pehmeä asfalttobetoni (km)	0	4,4	1,7	3,5	9,6
% tiepiirin as. teräsverkoista	0,0	100,0	59,6	75,2	57,4
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,0	0,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,0	0,0
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	0,0	0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0	0

<b>Vaasa</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	13,6	9,8	1,5	1,4	26,3
Tieverkkoa (km)	936	577	1355	5853	8721
% asennetuista teräsverkoista	1,5	1,7	0,1	0,0	0,3
Asfalttibetoni (km)	13,2	8,9	0	0,3	22,4
% tiepiirin as. teräsverkoista	97,5	90,8	0,0	18,6	85,3
Pehmeä asfalttibetoni (km)	0,3	0,9	1,5	1,1	3,8
% tiepiirin as. teräsverkoista	2,5	9,2	100,0	81,4	14,5
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,0	0,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,0	0,0
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	0,0	0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0	0

<b>Oulu</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	63,3	27,4	107,6	64,8	263,0
Tieverkkoa (km)	1482	775	2368	8115	12740
% asennetuista teräsverkoista	4,3	3,5	4,5	0,8	2,1
Asfalttibetoni (km)	59,8	6,4	9,6	17,0	92,8
% tiepiirin as. teräsverkoista	94,6	23,5	8,9	26,2	35,3
Pehmeä asfalttibetoni (km)	3,445	20,922	97,965	47,6	169,9
% tiepiirin as. teräsverkoista	5,4	76,5	91,1	73,8	64,6
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,0	0,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,0	0,0
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	0,3	0,3
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,5	0,1

<b>Lappi</b>	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Asennettua teräsverkkoa (km)	35,0	14,8	45,1	25,4	120,4
Tieverkkoa (km)	1265	954	2211	4697	9127
% asennetuista teräsverkoista	2,8	1,6	2,0	0,5	1,3
Asfalttibetoni (km)	32,7	5,6	0,4	0,0	38,7
% tiepiirin as. teräsverkoista	93,4	37,5	0,9	0,2	32,2
Pehmeä asfalttibetoni (km)	2,3	9,3	44,7	25,1	81,4
% tiepiirin as. teräsverkoista	6,6	62,5	99,1	99,8	67,6
Soratien pintausta (km)	0	0	0	0,0	0,0
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,2	0,0
Sorakulutuskerros (km)	0	0	0	0,2	0,2
% tiepiirin as. teräsverkoista	0	0	0	0,7	0,1

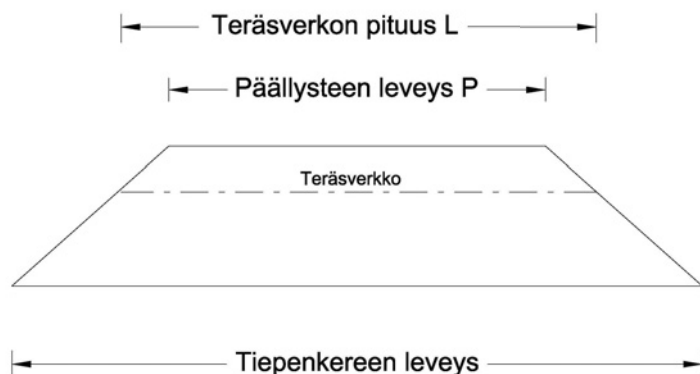


**LIITE 2: Teräverkkojen esimerkkilaskentojen mitoituksen lähtötiedot ja rakennemalli.**Yleiset oletukset:

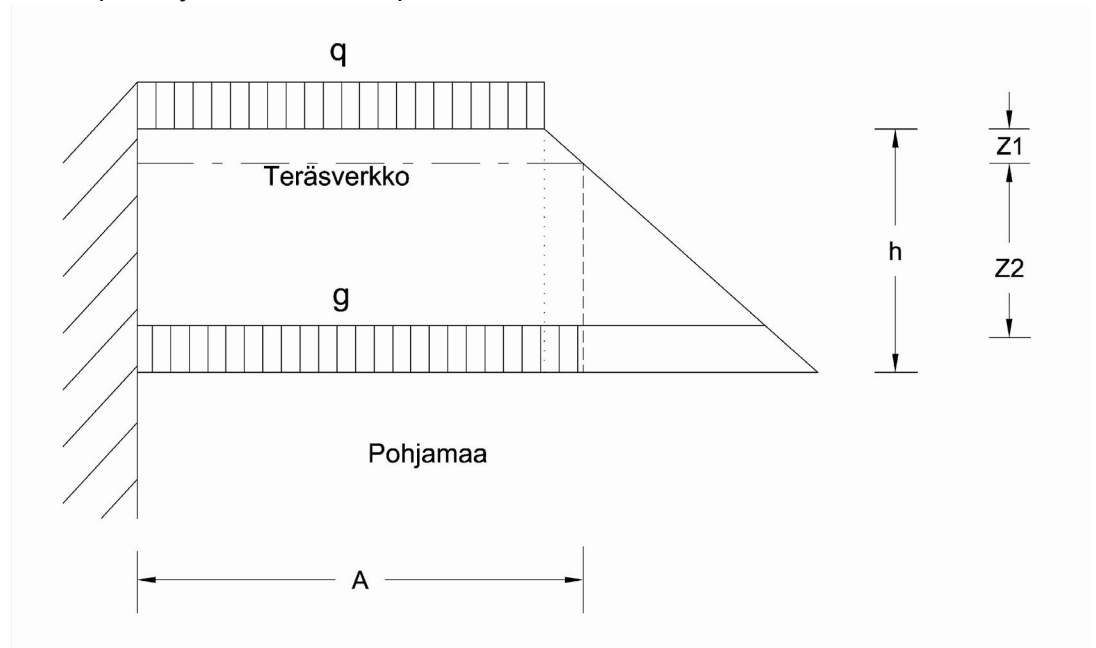
- Tehtävät toimenpiteet: kevyt rakenteen parantaminen, murskelisäys ja teräsverkon asentaminen kantavaan kerrokseen
- Kantavuusmitoituksen lähtötiedot on valittu tierakenteen vaatimusluokkien ja normaalipoikkileikkausten perusteella
- Vanhan rakenteen korkeus on valittu mitoitusta pienemmäksi
- Vanhojen rakennekerrosten korkeudet on valittu
- Uusi rakennepaksuus suurimman sallitun routanousun perusteella
- Teräsverkkojen asennussyvyys riippuu mitoituksen vaatimasta kantavan kerroksen murskelisäyksestä ja uuden päällysteen paksuudesta
- Korroosiota ei huomioida laskennoissa

Pohjamaan tiedot:

- Maalaji: silttimoreeni
- Tasalaatuinen
- Kuiva
- $E = 20 \text{ MPa}$
- Kelpoisuusluokka U1
- Alusrakenneluokka tH
- Routaturpoama 12 %

Tiepenkereen malli:

Teräsverkon mitoituksessa käytetty staattinen malli:  
ulkopalkki ja tasainen oma paino:



**Merkinnät:**

q = Liikennekuorma

g = Rakenteen oma paino

h = Tierakenteen korkeus

$z_1$  = Teräsverkon asennussyvyys päällysteen pinnalta laskettuna

$z_2$  = Rakenteen sisäinen momenttivarsi

A = Ulokepalkin pituus laskentamallissa (laskennallinen leveys B/2)

**Kuormitustapaukset:**

Kuormitustapaus 1a: Tierakenteen oma paino

Kuormitustapaus 1b: Tierakenteen oma paino ja mitoitusroudansyvyyden mukainen osuus pohjamaata

Kuormitustapaus 2a: Tierakenteen oma paino + liikennekuorma

Kuormitustapaus 2b: Tierakenteen oma paino ja mitoitusroudansyvyyden mukainen osuus pohjamaata + liikennekuorma

Ulokepalkin pituus, jossa on huomioitu routavaurioiden muodostumistapa:

Taulukko 1. Ulokepalkin pituuden (A) valinta

Teräsverkon pituus L, mm	2500	3000	3500	4500	4750	6000
Ulokepalkki, mm	1250	1500	1750	2000	2100	2200

Teräsverkon pituus L, mm	6500	7500	8500	11000	11500	13500
Ulokepalkki, mm	2300	2400	2500	2700	2800	3000

## LIITE 3: Esimerkkilaskelma poikkileikkaukselle IIN-7/6

## Maantie, IIN-7(6)

Rakenteen oma paino: Tien rakennekerrokset

## Kuormituskestävyyssuorituksen lähtötiedot

Kuormitusluokka liikennemäärän perusteella	0,8 AB
Tavoite päällysteen / kantavan päältä	230/145 MPa
Vaativuusluokka	V4, seututie
Suurin sallittu laskennallinen routanousu $RN_{sall}$	160 mm

## Tierakenteen tiedot kuormituskestävyyssuoritusta varten

Rakenteen korkeus ilman päällystettä	600 mm
Parantamisen yhteydessä tehtävä murskellisäys	200 mm
Uusi päällyste	80 mm
Uusi rakennepaksumus $h$ ( $RN_{sall} = 160$ mm)	880 mm
Päällysteen leveys $P$	7000 mm
Teräsverkon pituus $L$	7500 mm
Teräsverkon päällysteen yli menevä osuus	500 mm

Tierakenteen oma paino  $g$ 

AB	0,08 m
AB, tilavuuspaino	24 kN/m <sup>3</sup>
Kantava kerros	0,3 m
Murske, tilavuuspaino	21 kN/m <sup>3</sup>
Jakava kerros	0,2 m
Murske, tilavuuspaino	21 kN/m <sup>3</sup>
Suodatinkerros	0,3 m
Hiekka, tilavuuspaino	20 kN/m <sup>3</sup>
Penkereen korkeus	0,88 m
Päällystetyn osan oma paino	18,42 kN/m <sup>2</sup>
Päällystämättömän osan oma paino	16,50 kN/m <sup>2</sup>
Rakennekerrosten painotettu oma paino	18,29 kN/m <sup>2</sup>

## Tierakenteen tiedot teräsmäärän laskentaa varten

Penkereen leveys laskennallinen leveys $B = L$	7500 mm
Penkereen korkeus $h$	880 mm
Teräksen asennussyvyys pinnasta $z_1$	280 mm

## Kuormitustapaus 1: tierakenteen kuorma

Tierakenteen oma paino $g$	18,29 kN/m
Palkin pituus $A$ , taulukon mukaan	2400 mm
Maksimimomentti: $M_{max} = -q \cdot A^2/2$	52680960 kNmm
Teräksen myötölujuus $f$	500 N/mm <sup>2</sup>
Momenttivarsi $z_2$ ( $= (h - z_1) \cdot 0,8$ )	480 mm
Metrille tarvittava teräsmäärä: $A_s = M_{max} / z \cdot f_{myötö}$	220 mm <sup>2</sup>

## Kuormitustapaus 2: tierakenteen kuorma + liikennekuorma

Tierakenteen oma paino $g$	18,29 kN/m
Liikennekuorma $q$	15,00 kN/m
Kokonaiskuorma	33,29 kN/m
Palkin pituus $A$ , taulukon mukaan	2400 mm
Maksimimomentti: $M_{max} = -q \cdot A^2/2$	95880960 kNmm
Metrille tarvittava teräsmäärä: $A_s = M_{max} / z \cdot f_{myötö}$	400 mm <sup>2</sup>

Rakenteen oma paino: Tien rakennekerrokset + routaantuva pohjamaa

## Kuormituskestävyyssuorituksen lähtötiedot

Kuormitusluokka liikennemäärän perusteella	0,8 AB
Tavoite päällysteen / kantavan päältä	230/145 MPa
Vaativuusluokka	V4, seututie
Suurin sallittu laskennallinen routanousu $RN_{sall}$	160 mm
Mitoitusroutansyvyys	2000 mm

## Tierakenteen tiedot kuormituskestävyyssuoritusta varten

Rakenteen korkeus ilman päällystettä	600 mm
Parantamisen yhteydessä tehtävä murskellisäys	200 mm
Uusi päällyste	80 mm
Uusi rakennepaksumus $h$ ( $RN_{sall} = 160$ mm)	880 mm
Päällysteen leveys $P$	7000 mm
Teräsverkon pituus $L$	7500 mm
Teräsverkon päällysteen yli menevä osuus	500 mm

Tierakenteen oma paino  $g$ 

AB	0,08 m
AB, tilavuuspaino	24 kN/m <sup>3</sup>
Kantava kerros	0,3 m
Murske, tilavuuspaino	21 kN/m <sup>3</sup>
Jakava kerros	0,2 m
Murske, tilavuuspaino	21 kN/m <sup>3</sup>
Suodatinkerros	0,3 m
Hiekka, tilavuuspaino	20 kN/m <sup>3</sup>
Penkereen korkeus	0,88 m
Päällystetyn osan oma paino	18,42 kN/m <sup>2</sup>
Päällystämättömän osan oma paino	16,50 kN/m <sup>2</sup>
Rakennekerrosten painotettu oma paino	18,29 kN/m <sup>2</sup>
Routaantuvan pohjamaan korkeus	1,12 m
Pohjamaan (siMr) tilavuuspaino	22 kN/m <sup>3</sup>
Tierakenteen oma paino $g$	42,93 kN/m <sup>2</sup>

## Tierakenteen tiedot teräsmäärän laskentaa varten

Penkereen leveys laskennallinen leveys $B = L$	7500 mm
Penkereen korkeus $h$	2000 mm
Teräksen asennussyvyys pinnasta $z_1$	280 mm

## Kuormitustapaus 1: tierakenteen kuorma

Tierakenteen oma paino $g$	42,93 kN/m
Palkin pituus $A$ , taulukon mukaan	2400 mm
Maksimimomentti: $M_{max} = -q \cdot A^2/2$	123644160 kNmm
Teräksen myötölujuus $f$	500 N/mm <sup>2</sup>
Momenttivarsi $z_2$ ( $= (h - z_1) \cdot 0,8$ )	1376 mm
Metrille tarvittava teräsmäärä: $A_s = M_{max} / z \cdot f_{myötö}$	180 mm <sup>2</sup>

## Kuormitustapaus 2: tierakenteen kuorma + liikennekuorma

Tierakenteen oma paino $g$	42,93 kN/m
Liikennekuorma $q$	15,00 kN/m
Kokonaiskuorma	57,93 kN/m
Palkin pituus $A$ , taulukon mukaan	2400 mm
Maksimimomentti: $M_{max} = -q \cdot A^2/2$	166844160 kNmm
Metrille tarvittava teräsmäärä: $A_s = M_{max} / z \cdot f_{myötö}$	243 mm <sup>2</sup>



---

ISSN 1459-1553  
ISBN 978-952-221-221-4  
TIEH 3201128-v